

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

TOXICITA ODPADNÍCH VOD.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BARBORA URMINSKÁ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

TOXICITA ODPADNÍCH VOD.

WASTE WATER TOXICITY.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BARBORA URMINSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MVDr. HELENA ZLÁMALOVÁ
GARGOŠOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	FCH-BAK0712/2012	Akademický rok: 2012/2013
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	Barbora Urminská	
Studijní program:	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805R002)	
Vedoucí práce	MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.	
Konzultanti:		

Název bakalářské práce:

Toxicita odpadních vod.

Zadání bakalářské práce:

Práce je teoretického charakteru. Cílem bude zpracování literární rešerše týkající se problematiky komplexního hodnocení ekotoxicity odpadních vod (Whole Effluent Toxicity - WET) v České republice. Tyto poznatky budou porovnány s přístupy WET v zemích EU popř. i jiných.

Termín odevzdání bakalářské práce: 10.5.2013

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Barbora Urminská
Student(ka)

MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.
Vedoucí práce

Doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2013

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa formou literárnej rešerše zameriava na problematiku stanovenia toxicity odpadových vôd a zároveň popisuje základné legislatívne požiadavky vzťahujúce sa k danej problematike. Nakoľko negatívne účinky vypúšťaných odpadových vôd na organizmy žijúce v recipiente často priamo nezávisia na obsahu a na koncentrácii toxických látok obsiahnutých v odpadovej vode, stanovenia samotných fyzikálno-chemických ukazovateľov sú nedostačujúce a nemajú potrebnú výpovednú hodnotu. Cieľom práce je teda poukázať na dôležitosť využívania ekotoxikologických biotestov ako súčasti komplexného hodnotenia toxicity odpadových vôd a priblížiť prístupy k tejto metóde v krajinách Európskej únie.

ABSTRACT

The theoretical thesis is focused on evaluation of toxicity of wastewaters and effluents and also on specification of legislative requirements related to the subject. As the negative effects of effluents on receiving water do not always depend on presence and concentrations of toxic chemicals contained in the effluent, analyses of physical and chemical parameters only is not sufficient and does not provide adequate results. The aim of the thesis is to show the importance of using ecotoxicological biotests as a necessary part of whole effluent toxicity assessment and to describe approaches to this testing in the European Union countries.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

odpadové vody, ekotoxicita, priama toxicita odpadových vôd (WET)

KEYWORDS

waste water, effluents, ecotoxicity, whole effluent toxicity (WET)

URMINSKÁ, B. *Toxicita odpadních vod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 42 s. Vedúci bakalárskej práce MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne a že všetky použité literárne zdroje som správne a úplne citovala. Bakalárska práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemickej VUT v Brne a môže byť využitá ku komerčným účelom len so súhlasom vedúceho bakalárskej práce a dekana FCH VUT.

.....
Barbora Urminská
3. 5. 2013

Pod'akovanie

Touto cestou chcem poďakovať vedúcej mojej bakalárskej práce, MVDr. Helene Zlámalovej Gargošovej, PhD. za poskytnutú pomoc a cenné rady počas vypracovania.

OBSAH

1 Úvod	7
2 Problematika odpadových vôd	8
2.1 Základné rozdelenie odpadových vôd	8
2.1.1 Splaškové odpadové vody	8
2.1.2 Priemyselné odpadové vody	8
2.1.2.1 Prevažne anorganicky znečistené odpadové vody	9
2.1.2.2 Prevažne organicky znečistené odpadové vody	9
2.2 Rozšírené rozdelenie odpadových vôd	9
2.3 Látky vo vodách	10
2.3.1 Nebezpečné látky	10
2.3.2 Zvlášť nebezpečné látky	11
2.3.3 Prioritné a prioritné nebezpečné látky	11
3 Legislatíva k problematike odpadových vôd	12
3.1 Základné pojmy	12
3.2 Základné ukazovatele znečistenia odpadových vôd	13
3.3 Legislatívny rámec Českej republiky	13
3.3.1 Požadované rozborý pre stanovenie fyzikálno-chemických ukazovateľov	14
3.3.2 Požadované ekotoxikologické skúšky	15
3.3.2.1 Ekotoxicita v českej legislatíve	15
3.3.2.2 Oblasť odpadov	15
3.4 Legislatívny rámec Slovenskej republiky	16
3.4.1 Požadované rozborý pre stanovenie fyzikálno-chemických ukazovateľov	16
3.4.2 Požadované ekotoxikologické skúšky	17
4 Ekotoxikológia odpadových vôd	18
4.1 Účinky odpadových vôd na vodné ekosystémy	18
4.2 Akvatické biotesty	19
4.2.1 Testy 1. generácie	19
4.2.2 Testy 2. generácie	20
4.2.3 Testy 3. generácie	20
4.3 Vykonanie testu toxicity	20
4.4 Niektoré používané indexy na vyhodnotenie toxicity	21
4.5 Používané metódy a batérie testov v Českej republike a na Slovensku	23
4.6 Priama toxicita odpadových vôd	27
4.6.1 Vzťah medzi stanovením WET a analytickým stanovením	27
4.6.2 Využitie WET	28
4.6.3 Prístupy stanovenia WET vo vybraných krajinách	28
4.6.3.1 Slovensko – Twinning projekt SK05/IB/EN/01	28
4.6.3.2 Pobaltská oblasť – COHIBA project	29
4.6.3.3 Portugalsko – povodie rieky Trancão	29
4.6.3.4 Francúzsko	30
4.6.3.5 Nemecko – kovospracujúci a papierenský priemysel	30
5 Záver	31
6 Zoznam použitej literatúry	32
7 Použité skratky a symboly	37

8 Zoznam príloh.....	38
9 Prílohy	39
9.1 Príloha 1 Analytické metódy stanovenia ukazovateľov znečistenia	39
9.2 Príloha 2 Súvisiace normy ČSN v oblasti ekotoxikológie	41

1 ÚVOD

Kolobeh vody je jedným zo základných, neustále prebiehajúcich procesov v prírode. Voda, ktorá pokrýva viac než dve tretiny zemského povrchu, voda vo všetkých troch skupenstvách, povrchová i podzemná, sladká a morská, voda s rôznym stupňom mineralizácie – na všetky vplýva človek svojou činnosťou, ktorej dôsledkom býva znečistenie spôsobené prenikaním xenobiotík do prírodného prostredia.

Človek vodu využíva denne – od využitia pitnej vody v domácnostiach i verejných stavbách na konzum i hygienu, cez poľnohospodárske účely až po využitie v priemyselných procesoch. Pri tomto všetkom zákonite dochádza k rôznemu stupňu znečistenia použitej vody. Aby sa táto voda mohla znova účinne zaradiť do kolobehu vody v prírode, je nevyhnutné jej prečistenie. Až vtedy môže byť vypustená a vrátená prírode. V opačnom prípade, keď sa do recipientu dostáva neprečistená voda so škodlivými až toxickými účinkami, dôsledkom je hlboký dopad na zhoršenie kvality vôd, na život organizmov v nich a prostredníctvom týchto organizmov, ale aj priamo i na človeka.

Zdroje znečistenia prírodných vôd možno rozdeliť na bodové, ktorými sú napríklad čistiarene odpadových vôd; plošné, kam patria napríklad splachy z poľnohospodárskej pôdy; a difúzne, tj. rozptýlené bodové zdroje. Na znečistenie vôd majú kľúčový vplyv aj havarijné situácie, ako napríklad úniky nebezpečných látok z priemyselných závodov, priesaky zo skládok apod.

Posúdenie toxicity odpadovej vody je dôležitým a nevyhnutným procesom jednak pred samotným čistením – za účelom výberu vhodného a účinného čistiarenského procesu; ešte dôležitejším je však dôkladné posúdenie pred vypustením vody do recipientu. Pri hodnotení toxicity je možné vychádzať zo stanovenia fyzikálno-chemických ukazovateľov, takéto stanovenie však neprináša úplný obraz o toxicite a často nezodpovedá reálnym účinkom vody na organizmy žijúce vo vodnom prostredí. Práve preto má veľký význam vyhodnotenie priamej toxicity pomocou ekotoxikologických biotestov. Tieto dva prístupy pritom od seba nie je možné oddeliť – len kombinovaným zhodnotením fyzikálno-chemických ukazovateľov spolu s ekotoxikologickými účinkami je zabezpečená spoľahlivá identifikácia rizika, ukrytého často v látke s nízkou koncentráciou, no vysokou toxicitou, ktorá môže vznikáť i nekontrolovateľne ako degradačný alebo reakčný produkt v zložkách odpadovej vody.

2 PROBLEMATIKA ODPADOVÝCH VÔD

Odpadové vody sú definované ako vody použité v obytných, priemyselných, poľnohospodárskych, zdravotníckych a iných stavbách, zariadeniach alebo dopravných prostriedkoch, ak majú po použití zmenenú akosť (zloženie alebo teplotu), ako aj iné vody z nich odtekajúce, ak môžu ohroziť akosť povrchových alebo podzemných vôd (napr. odtoky zrážkových vôd, ak boli po spadnutí znečistené) [1]. Bez ohľadu na akosť sem patria aj priesakové vody z odkalísk alebo zo skládok odpadu.

2.1 Základné rozdelenie odpadových vôd

Základné rozdelenie zahŕňa 3 skupiny [1]:

1. **Splaškové odpadové vody (splašky)** – odpadové vody z domácností, hygienických zariadení, reštaurácií atď.
2. **Priemyselné odpadové vody** – odpadové vody z výrobných procesov (vrátane vôd chladiacich), ktoré už nie sú pre daný proces použiteľné. Patria sem aj odpadové vody z poľnohospodárstva.
3. **Mestské odpadové vody** – zmes splaškov a niektorých priemyselných odpadových vôd, prípadne aj dažďová voda, odvádzaná verejnou kanalizáciou (jednotnou či samostatnou).

Samostatnú kategóriu tvoria tzv. balastné vody. Sú to najmä podzemné vody, ktoré sa netesnosťami dostávajú do kanalizácie, patria sem však i povrchové toky, ktoré bývali najmä v minulosti zašŕňované do kanalizačného systému (ide napr. o rôzne potôčiky) napriek tomu, že nejde o znečistené vody. Prítomnosť balastných vôd je nežiaduca, nakoľko narušujú a ochladzujú odpadové vody, čo má negatívny vplyv na čistiarenský proces [2].

2.1.1 Splaškové odpadové vody

Splaškové vody obsahujú rôzne rozpustené a nerozpustené látky. Tie sa delia na usaditeľné a neusaditeľné. pH splaškových vôd býva obvykle v rozmedzí 6,5 – 8,5.

Látky obsiahnuté v splaškových odpadových vodách [1]:

- a) chloridy (prevažne z moču, v mestských odpadových vodách aj z neutralizačných staníc priemyselných závodov a z posypu vozoviek v zimných mesiacoch),
- b) zlúčeniny fosforu (z moču, fekálií, pracích a čistiacich prostriedkov a zvyškov potravy),
- c) zlúčeniny dusíku (z moču – v čerstvých splaškových vodách močovina, následnou hydrolýzou vzniká amoniakálny dusík; voľné a viazané aminokyseliny),
- d) zlúčeniny síry (sírany, sulfidy),
- e) sacharidy a ďalšie organické bezdusíkaté látky,
- f) lipidy (hydrofóbne látky – tuky, vosky, steroidy, fosfolipidy, voľné vyššie alifatické kyseliny vrátane mydiel),
- g) tenzidy, liečivá, biologicky rezistentné organické látky.

2.1.2 Priemyselné odpadové vody

Vlastnosti a zloženie priemyselných odpadových vôd výrazne závisí na druhu výrobného procesu, z ktorého sú odvádzané. V minulosti boli tieto vody napriek častému obsahu toxických látok bežne vypúšťané do kanalizácie, bez ohľadu na možnosti koncovej čistiarenskej odpadových vôd. V súčasnosti je v závislosti na obsahu nebezpečných a zvlášť nebezpečných

látok nutné tieto odpadové vody čistiť oddelene v samostatných priemyselných ČOV, alebo ich aspoň predčistiť. V niektorých prípadoch je čistenie možné spoločne so splaškovými odpadovými vodami.

Priemyselné odpadové vody možno vo väčšine priemyselných odvetví rozdeliť na viaceré prúdy s rozličným vlastnosťami. Patria sem predovšetkým technologické vody (obvykle obsahujú hlavný podiel znečistenia), chladiace vody (hlavným problémom je zvýšená teplota), splaškové vody (z hygienického zázemia a stravovacích priestorov v podnikoch), zrážkové vody z areálu (je nutné oddelenie na nekontaminované a kontaminované kontaktom so závadnými látkami) a podzemné vody z hydrogeologickej ochrany (najmä v chemických a petrochemických podnikoch, účelom hydrogeologickej ochrany je zabrániť šíreniu znečistenia podzemných vôd z územia podniku do okolia). [3]

Rozdelenie podľa obsahu znečisťujúcich látok delí priemyselné odpadové vody na prevažne anorganicky znečistené a prevažne organicky znečistené. Okrem toho sa vyskytujú prechodné typy s významným podielom ako anorganického, tak aj organického znečistenia [1].

2.1.2.1 Prevažne anorganicky znečistené odpadové vody

Anorganické kontaminanty priemyselných odpadových vôd môžu byť prítomné v nerozpustenej i v rozpustenej podobe a sú toxického alebo netoxického charakteru. Patria sem najmä odpadové vody z keramického a sklárskeho priemyslu, z výroby anorganických látok a hnojív, z morenia železa a povrchovej úpravy kovov apod.

2.1.2.2 Prevažne organicky znečistené odpadové vody

Organické látky obsiahnuté v odpadových vodách sa delia na biologicky rozložiteľné a biologicky nerozložiteľné, toxické a netoxické [1]. Okrem toxicity je nutné posúdiť ďalšie možné škodlivé účinky, ako napr. vytváranie olejovitých povrchových vrstiev či penivosť tenzidov, ktoré vedú k narušeniu priebehu biologického čistenia [1].

2.2 Rozšírené rozdelenie odpadových vôd

Toto rozšírené delenie triedi odpadové vody podľa druhu znečisťujúcich látok [4].

1. **Odpadové vody s prevahou organických látok a hnilobné kaly** – OV najmä z domácností a z niektorých poľnohospodárskych a potravinárskych závodov. Obsah organických látok v týchto vodách spôsobuje zmeny v kyslíkovom režime, dôsledkom čoho sú aj zmeny skladby biocenózy.
2. **Odpadové vody z ťažby a úpravní rúd – minerálne kaly**. Vo vodnom prostredí zvyšujú zákal, menia svetelnú klímu a charakter dna. Spôsobujú zmenu skladby biocenózy vylučovaním filtrátorov z potravinového reťazca.
3. **Odpadové vody s obsahom toxických a kumulatívnych látok** – najmä s obsahom kovov, na ktoré sú citlivé vyššie rastliny, kôrovce a mäkkýše.
4. **Rádioaktívne odpadové vody** – z jadrových elektrární, ťažby a spracovania uránových rúd. Nízke dávky rádionuklidov majú stimulačný účinok na rast a rozmnožovanie rias, pri vysokých dávkach však pôsobia ako mitotický jed. Spôsobujú karyologické a teratogénne zmeny. Rezistentnými organizmami voči rádionuklidom sú baktérie.
5. **Odpadové vody s olejovými látkami a ropnými produktmi** – prienik do prostredia pri haváriách. Olejový film na hladine znemožňuje výmenu plynov a zoslabuje biologickú účinnosť svetla, vytvára anaeróbne podmienky.

6. **Oteplené odpadové vody** – najmä z chladiacich systémov (tepelné elektrárne, hutníctvo), spôsobujú tzv. tepelné znečistenie. Výraznejší vplyv sa prejavuje v stojatých vodách. Pozitívny účinok sa týka rybolovu, nakoľko zvýšená teplota vody stimuluje tvorbu rybej biomasy, čo vedie k predĺženiu vegetačného obdobia.
7. **Opadové vody s patogénnymi organizmami a parazitmi** – zo zdravotníctva, poľnohospodárskej výroby a bitúnkov. Obsahujú črevnú a hnilobnú mikroflóru, patogénne a parazitické organizmy, takže sú nevhodné pre úžitkové účely.

2.3 Látky vo vodách

Povrchové a podzemné vody obsahujú celý rad látok prírodného i antropogénneho pôvodu. Mnohé z nich sú pritom obsiahnuté len v stopovom množstve. Mikrobiologické a biologické osídlenie týchto vôd je priamo ovplyvnené ich fyzikálno-chemickým zložením. Organizmy žijúce vo vode sa tak stávajú ukazovateľmi jej znečistenia – kataróbné organizmy žijú v čistých vodách, sapróbné vo vodách s rôznym stupňom znečistenia [5].

Prírodné látky vo vodách spôsobujú tzv. prirodzené znečistenie. Sú to látky prevažne anorganického charakteru, rozpustené (v iónovej alebo molekulárnej forme) i nerozpustené (látky usaditeľné, neusaditeľné, vzplývavé, koloidy). S výnimkou vôd z rašelinísk je v povrchových vodách len relatívne malé množstvo prírodných organických látok – hlavnými zdrojmi sú rašelinný a pôdny humus, výluhy z tlejúceho dreva a produkty životnej činnosti vodných organizmov [1, 5].

Látky antropogénneho pôvodu sa do vôd dostávajú z odpadov z poľnohospodárstva, vznikajú pri úprave vody a pod. Hlavným zdrojom antropogénneho znečistenia sú však splaškové a priemyselné odpadové vody. Pre analytické posúdenie toxicity odpadových vôd má význam predovšetkým prítomnosť a koncentrácia závadných látok v nich [1, 5].

Závadné látky sú podľa Zákona č. 254/2001 o vodách a o zmene niektorých zákonů (vodný zákon) také, ktoré môžu ohroziť akosť povrchových, podzemných alebo odpadových vôd. Delia sa na **nebezpečné** a **zvlášť nebezpečné látky**. Zvláštnou kategóriou sú **prioritné látky**, kam patria látky predstavujúce významné riziko pre vodné prostredie a súvisiace ekosystémy [1, 6].

2.3.1 Nebezpečné látky

Medzi nebezpečné látky sú zaradené [5]:

- a) polokovy, kovy a ich zlúčeniny: zinok, meď, nikel, chróm, olovo, selén, arzén, antimón, molybdén, titán, cín, bário, berýlium, bór, urán, vanád, kobalt, tálium, telúr, striebro,
- b) biocídy a ich deriváty, ktoré nie sú uvedené medzi zvlášť nebezpečnými látkami,
- c) látky s negatívnymi organoleptickými vplyvmi,
- d) anorganické zlúčeniny fosforu,
- e) toxické alebo perzistentné organické zlúčeniny,
- f) rozložiteľné minerálne oleje a uhľovodíky ropného pôvodu,
- g) fluoridy,
- h) látky s nepriaznivým vplyvom na rovnováhu kyslíka vo vode (najmä amónne soli a dusitany),
- i) kyanidy.

2.3.2 Zvlášť nebezpečné látky

Ide o látky, ktorých prítomnosť v odpadovej vode znamená nutnosť povolenia vodo-právneho orgánu, aby bolo možné ich vypúšťanie do recipientu [1]. Podľa Zákona č. 254/2001 sú takýmito látkami [5]:

- a) organohalogénové zlúčeniny,
- b) organofosforové zlúčeniny,
- c) organické zlúčeniny cínu,
- d) karcinogénne, mutagénne a teratogénne látky,
- e) ortuť a jej zlúčeniny,
- f) kadmium a jeho zlúčeniny,
- g) perzistentné minerálne oleje a uhl'ovodíky ropného pôvodu,
- h) perzistentné syntetické látky.

2.3.3 Prioritné a prioritné nebezpečné látky

Prioritnými nebezpečnými látkami sú podľa príslušného Nariadenia vlády Českej republiky [7] antracén, kadmium a jeho zlúčeniny, chlóralkány C₁₀₋₁₃, diuron endosulfán, hexachlórbenzén, hexachlórbutadién, hexachlórcyklohexán, ortuť a jej zlúčeniny, nonylfenol (4-nonylfenol), pentachlórbenzén, polycyklické aromatické uhl'ovodíky: benzo[a]pyrén, benzo[b]fluorantén, benzo[g,h,i]perylén, benzo[k]fluorantén, Indeno[1,2,3-cd]pyrén; kation tributylcínu.

Ostatnými prioritnými látkami, ktoré nie sú označené ako nebezpečné, sú alachlór, atrazín, benzén, brómovaný difenyléter, pentabromdifenyléter (kongenery PBDE s číslami 28, 47, 99, 100, 153 a 154), chlórfevinfos, chlórpyrifos (chlórpyrifos-etyl), 1,2-dichlóretán, dichlórmétán, di(2-etylhexyl)ftalát (DEHP), fluorantén, izoproturón, olovo a jeho zlúčeniny, naftalén, nikel a jeho zlúčeniny, oktylfenol, 4-(1,1',3,3'-tetrametylbutyl)-fenol, pentachlórfenol, simazín, trichlórbenzény, trichlórmétán (chloroform) a trifluralín.

V slovenskej legislatíve¹ sú namiesto pojmov nebezpečná a zvlášť nebezpečná látka definované pojmy škodlivá a obzvlášť škodlivá látka. Znečisťujúca látka je akákoľvek látka, ktorá môže spôsobiť znečistenie vôd [8]. "Slovenské" rozdelenie znečisťujúcich látok na látky škodlivé a obzvlášť škodlivé sa od "českého" rozdelenia na nebezpečné látky a zvlášť nebezpečné látky líši len minimálne (kyanidy sú zaradené medzi obzvlášť škodlivé látky, v škodlivých látkach sú zvlášť zaradené silážne šľavy, priemyselné a organické hnojivá a ich tekuté zložky, chýba zaradenie látok s negatívnymi organoleptickými vplyvmi).

Termín **nebezpečná látka** je podľa slovenskej legislatívy definovaný ako škodlivá látka a obzvlášť škodlivá látka, ktoré nie sú súčasťou odpadových vôd [8].

¹ V tejto práci sú termíny používané v zmysle definovanom českou legislatívou. Nakoľko však samostatná kapitola popisuje legislatívu k problematike odpadových vôd na Slovensku, pre úplnosť sa tu uvádzajú aj termíny, s ktorými slovenská legislatíva pracuje a ktoré sú odlišné od termínov v českej legislatíve.

3 LEGISLATÍVA K PROBLEMATIKE ODPADOVÝCH VÔD

3.1 Základné pojmy

Špecifické množstvo odpadových vôd – množstvo odpadovej vody, ktoré pripadá na jedného obyvateľa alebo výrobnú jednotku, vzťahnuté na jednotku času [1].

Populačný ekvivalent – miera znečistenia vyprodukovaná jedným obyvateľom za jeden deň [1].

Ekvivalentný počet obyvateľov (EO) – myslený počet obyvateľov, ktorý by produkoval určité znečistenie. Výpočet vychádza z populačného ekvivalentu [1].

Priame vypúšťanie do podzemných vôd – vypúšťanie znečisťujúcich látok do podzemných vôd bez ich priesaku cez pôdu alebo pôdne podložie

Nepriame vypúšťanie do podzemných vôd – vnikanie znečisťujúcich látok priesakom do podzemných vôd cez pôdu alebo jej pôdne podložie.

Toxicita vody – predovšetkým účinok cudzorodých látok, ktoré sa do recipientu dostávajú prevažne prostredníctvom odpadových vôd. Okrem toho existuje prirodzená toxicita vznikajúca bez ľudského zásahu, ako napríklad medziprodukty rozkladu organických látok (hydroxylamín, sulfán a pod.) [9]. Toxicita môže byť spôsobená fyzikálno-chemickými i biologickými faktormi [10].

Najvyššia prípustná koncentrácia – vyjadruje koncentráciu látky a jej metabolitov vo vodách, ktorá pri stálom pôsobení nevyvolá negatívne účinky na hydrochemický režim recipientov a na organizmy.

Citlivé oblasti – vodné útvary povrchových vôd, v ktorých dochádza alebo v blízkej budúcnosti môže v dôsledku vysokej koncentrácie živín dôjsť ku vzniku nežiaduceho stavu akosti vôd. Ďalej sem patria oblasti, ktoré sú využívané ako zdroje pitnej vody (alebo sa také využitie predpokladá), ak koncentrácia dusičnanov presahuje hodnotu $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, a oblasti, pre ktoré je legislatívne stanovený vyšší stupeň čistenia odpadových vôd [6].

Emisné štandardy – najvyššie prípustné hodnoty predpísaných ukazovateľov znečistenia odpadových vôd [7].

Imisné štandardy – najvyššie prípustné hodnoty predpísaných ukazovateľov znečistenia povrchových vôd (predstavujú cieľový stav akosti povrchových vôd) [7].

Emisné limity – najvyššie prípustné hodnoty ukazovateľov znečistenia odpadových vôd, ktoré stanoví vodoprávny úrad v povolení k vypúšťaniu odpadových vôd do vôd povrchových a do kanalizácií [7].

Limitné hodnoty emisií – "množstvo vyjadrené v určitých špecifických ukazovateľoch, koncentrácia a/alebo úroveň emisie, ktorá sa nesmie prekročiť počas jedného alebo viacerých časových období. Limitné hodnoty emisií pre látky platia obvykle v mieste, kde emisie opúšťajú zariadenie, pričom pri ich určovaní sa neberie do úvahy riedenie" [11]. Pri nepriamom vypúšťaní sa zohľadňuje účinok čistiare odpadových vôd, ak je zaručená ekvivalentná úroveň životného prostredia ako celku.

Produkované znečistenie – množstvo znečistenia, obsiahnuté v produkovaných (znečistených) odpadových vodách [2].

Vypúšťané znečistenie – znečistenie obsiahnuté v odpadových vodách vypúšťaných do povrchových vôd.

3.2 Základné ukazovatele znečistenia odpadových vôd

Medzi základné ukazovatele, ktoré sú súčasťou minimálneho rozsahu rozborov toxicity odpadových vôd, patria nasledujúce:

Biochemická spotreba kyslíka (BSK₅) – hmotnostná koncentrácia rozpusteného kyslíku spotrebovaného za stanovených podmienok v oxickom prostredí biochemickou oxidáciou organických látok počas inkubačnej doby 5 dní. Je jedným z ukazovateľov kyslíkového režimu vo vode a udáva mieru koncentrácie biologicky rozložiteľných látok vo vode [1].

Chemická spotreba kyslíku – stanovenie oxidovateľnosti dichrómanom (CHSK_{Cr}) – hmotnostná koncentrácia kyslíku ekvivalentná hmotnosti spotrebovaného silného oxidačného činidla – dichrómanu draselného, ktorý je potrebný na oxidáciu oxidovateľných látok prítomných v 1 litri vody. Oxidácia prebieha v silne kyslom prostredí kyseliny sírovej [12].

Amoniakálny dusík (N_{amon}) – vo vodách sa vyskytuje v disociovej (NH₄⁺) i nedisociovej (NH₃) forme, pričom pomer týchto dvoch foriem závisí na pH a na teplote vody. Ukazovateľ N-NH₄ vyjadruje vždy súčet oboch foriem amoniakálneho dusíku [12].

Celkový anorganický dusík (N_{anorg}) – stanovuje sa ako suma obsahu dusičnanového, dusitanového a amoniakálneho dusíku [12].

Celkový fosfor (P_{celk}) – suma anorganickej a organickej formy výskytu fosforu vo vode. Najčastejšie sa vyskytuje vo forme ortofosforečnanov a polyfosforečnanov. Základný typ stanovenia je založený na prevedení všetkých foriem fosforu na ortofosforečnany [2].

Nerozpustené látky (NL) – obsah tuhých látok, ktoré sa za daných podmienok zachytia na filtri. Stanovenie prebieha metódou filtrácie presného množstva homogenizovanej vzorky na filtri zo sklenených vlákien. Po filtrácii sa filter vysuší najskôr pri teplote 105 °C, čím sa stanoví NL₁₀₅, následne sa žiňaním pri 550 °C stanoví strata žiňaním NL₅₅₀. [12]

Ďalšími významnými skupinovými ukazovateľmi sú:

Rozpustené anorganické soli (RAS) – sumárne stanovenie obsahu rozpustených anorganických látok, ktoré sa vo vode vyskytujú v disociovej forme – predovšetkým ako kationy Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ (ďalšie kovy tvoriace rozpustné soli je obvykle možné previesť na nerozpustné zlúčeniny, čím sa vplyv na koncentráciu RAS stáva zanedbateľným) a anióny Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ a PO₄³⁻. Stanovenie sa vykonáva gravimetricky po filtrácii filtrom zo sklenených vlákien [13].

Adsorbovateľné organicky viazané halogény (AOX) – sumárne stanovenie podstatnej časti nepolárnych i polárnych organických látok obsahujúcich viazaný chlór, bróm a jód, ktoré sa v kyslom prostredí adsorbujú na aktívnom uhlí [1].

3.3 Legislatívny rámec Českej republiky

Základným právnym nástrojom pre ochranu akosti vôd je **Zákon č. 254/2001 Sb.** o vodách a o zmene niektorých zákonů (zatiaľ posledná zmena: 501/2012 Sb.). Tento zákon okrem iného definuje termín odpadové vody, všeobecné podmienky ich vypúšťania do povrchových či podzemných vôd a náležitosti povolenia k vypúšťaniu, zoznam nebezpečných a zvlášť nebezpečných látok a podmienky zaobchádzania s nimi [6].

Ukazovatele a hodnoty prípustného znečistenia sú predpísané formou nariadení vlády, a to predovšetkým v **Nařízení vlády č. 416/2010 Sb.** o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních; a **Nařízení vlády č. 23/2011 Sb.**, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod,

náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech [14, 15].

Ďalšími dôležitými legislatívnymi dokumentmi sú **Nařízení vlády č. 143/2012 Sb.** o postupu pro určování znečištění odpadních vod, provádění odečtů množství znečištění a měření objemu vypouštěných odpadních vod do povrchových vod; **Nařízení vlády č. 262/2012 Sb.** o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění Nařízení vlády č. 448/2012 Sb; **Vyhláška č. 123/2012 Sb.** o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových; **Vyhláška č. 98/2011 Sb.** o způsobu hodnocení stavu útvarů povrchových vod, způsobu hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod a taktiež **Vyhláška č. 450/2005 Sb.** o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu, způsobu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků.

Z dokumentov Európskej únie, ktoré boli postupne implementované do českej legislatívy treba spomenúť najmä **Smernicu 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady**, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva (cieľom tejto smernice bolo okrem iného postupné znižovanie znečisťovania prioritnými látkami a zastavenie a postupné odstraňovanie emisií, vypúšťania a únikov prioritných nebezpečných látok [11]) a **Smernicu Európskeho parlamentu a Rady 2008/105/ES** o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky a o zmene a doplnení smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES (definuje napr. normy environmentálnej kvality (NEK) pre prioritné látky a niektoré ďalšie znečisťujúce látky a ukladá členským štátom povinnosť vypracovať zoznam emisií, vypúšťania a únikov všetkých prioritných látok a znečisťujúcich látok pre každú oblasť povodia vrátane koncentrácií týchto látok v sedimente a biote [16]).

3.3.1 Požadované rozborov pre stanovenie fyzikálno-chemických ukazovateľov

Minimálny rozsah rozborov odpadových vôd pritekajúcich a odtekajúcich z ČOV zahŕňa stanovenie BSK₅ (BOD₅), CHSK_{Cr} (COD_{Cr}), NL, amoniakálny a celkový anorganický dusík a celkový fosfor. Tieto testy sa používajú pri mestských odpadových vodách. Hodnoty emisných štandardov závisia na zdroji znečistenia, tj. na počte ekvivalentných obyvateľov (EO) [1, 17].

Základné ukazovatele znečistenia priemyselných odpadových vôd sú v závislosti na druhu výroby As, AOX, BSK₅, Ba, Cu, Cr, Cl⁻, aktívny chlór, CN⁻, F⁻, fenoly jednosýtné, Hg, CHSK_{Cr}, Mn, NL, uhlíkovodíky C₁₀₋₄₀, N_{amon}, N_{celk}, Ni, pH, P_{celk}, PAU (PAH), Pb, RAS, sírany, sulfidy, Zn a v prípade strojárnských a elektrotechnických výrob ďalšie prvky – Ag, Al, Cd, Co, Se, Sn, dusitanový dusík [1]. Zo zvlášť nebezpečných látok sú v Nařízení vlády č. 23/2011 Sb. definované emisné štandardy pre tieto látky: ortuť, kadmium, hexachlór-cyklohexán (HCH), tetrachlórmetán (CCl₄), DDT, pentachlórphenol (PCP) a jeho soli, aldrín, dieldrín, endrín a isodrín, hexachlórbenzén (HCB), hexachlórbutadién (HCBD), chloroform (CHCl₃), 1,2-dichlóretán (EDC), trichlóretén, tetrachlóretén (perchlóretylén, PER), trichlórbenzén a (TCB) [7]. Emisné limity sú definované pre rôzne typy priemyslu formou neprekročiteľných hodnôt denných a mesačných priemerov v mg·l⁻¹ a g·t⁻¹.

Tabuľka 1 Príklady predpísaných emisných štandardov, ktoré musia byť stanovené a dodržané pri vypúšťaní priemyselných odpadových vôd do vôd povrchových [1, 7].

Odvetvie priemyslu	Prehľad ukazovateľov
cukrovary, liehovary, škrobárne	CHSK _{Cr} , BSK ₅ , NL, N _{amon} , N _{anorg} , P _{celk} , pH
drevospracujúci priemysel	C ₁₀₋₄₀ , PAH
kafilérie	CHSK _{Cr} , BSK ₅ , NL, EL, N _{amon} , N _{anorg} , P _{celk} , pH
sklárne	CHSK _{Cr} , NL, F, Pb, As, Ba
spracovanie mäsa	CHSK _{Cr} , BSK ₅ , EL, NL, N _{amon} , N _{anorg} , P _{celk}
spracovanie neželezných kovov	pH, NL, C ₁₀₋₄₀ , AOX, Pb, Cr, Zn, Al, Cu, Ni
tepelná úprava kovov	pH, NL, N-NO ₂ , P _{celk} , C ₁₀₋₄₀ , CN _{celk} , CN ⁻ ľahko uvoľniteľné, zvyškový chlór, Ba, Cr, Fe
teplárne a elektrárne	pH, NL, C ₁₀₋₄₀ , RAS
textilný priemysel	CHSK _{Cr} , BSK ₅ , RAS, NL, C ₁₀₋₄₀ , AOX, Cr, Cu, Zn, Fe, Ni
ťažba a spracovanie rúd	pH, NL, C ₁₀₋₄₀ , Fe, Zn, Pb, Cu, As

Vypúšťanie odpadových vôd do vôd povrchových je spoplatnené pre ukazovatele CHSK_{Cr}, RAS, NL, celkový fosfor, celkový anorganický dusík (súčet koncentrácie dusíku amoniakálneho, dusitanového a dusičnanového), AOX, Hg a Cd [1, 17]. Stanovenie sa vykonáva podľa noriem ČSN (viď Príloha I).

Povolenie na vypúšťanie odpadových vôd sa vydáva na dobu max. 10 rokov. V prípade odpadových vôd obsahujúcich nebezpečné alebo zvlášť nebezpečné látky je táto doba skrátená na max. 4 roky. Každý, kto vypúšťa odpadové vody do vôd povrchových alebo podzemných musí mať povolenie príslušného správneho orgánu – vodoprávneho úradu [6, 18].

3.3.2 Požadované ekotoxikologické skúšky

3.3.2.1 Ekotoxicita v českej legislatíve

Termín ekotoxicita je v českej legislatíve definovaný už vyše pätnásť rokov. V súlade s Nařízením vlády č. 513/1992 bola v roku 1994 vypracovaná metodika Ekotoxikologické hodnocení výluhů tuhých průmyslových odpadů, ktorá bola základom hodnotenia akútnej toxicity výluhov z odpadu [19]. Vybraný súbor testov ekotoxicity na rôznych trofických úrovniach je stanovený aj pre hodnotenie chemických látok (Zákon č. 356/2003 Sb. o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů ve znění zákona č. 350/2011 Sb.) a účinkov pesticídov (Zákon č. 199/2012 Sb. o rostlinolékařské péči a Vyhláška č. 32/2012 Sb. o přípravcích a dalších prostředcích na ochranu rostlin) [20].

Hodnotenie ekotoxicity odpadových vôd súčasne platná legislatíva nepredpisuje. Nasledujúca kapitola preto popisuje definície zavedené pre príbuznú oblasť odpadov.

3.3.2.2 Oblasť odpadov

Ekotoxicita je tu definovaná ako vlastnosť odpadu predstavujúca akútne či neskoršie nebezpečenstvo v dôsledku nepriaznivého zaťaženia životného prostredia biologickou akumuláciou alebo toxickými účinkami na biotické systémy. Ide o nebezpečnú vlastnosť odpadu v zmysle Vyhlášky Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví č. 376/2001 Sb. o hodnotení nebezpečných vlastností odpadů [21], a zároveň o ukazovateľ

slúžiaci na zaradenie odpadu do triedy vylúhovateľnosti podľa **Vyhlášky č. 294/2005 Sb.** o podmínkach ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady [23]).

Ekotoxická je teda vlastnosť odpadov, ktoré pre aspoň jeden z testovacích organizmov pri danej dobe pôsobenia testovanej látky na testovací organizmus vykazujú u vo vode rozpustných odpadov hodnotu $EC_{50} \leq 10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$; u nerozpustných odpadov musí ich vodný výluh vykazovať pre aspoň jeden z testovacích organizmov hodnotu $EC_{50} \leq 10 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ alebo mať toxickú jednotku ≥ 10 [23].

Na stanovenie ekotoxicity slúžia testy akútnej toxicity vodného výluhu odpadu, resp. jeho roztoku. Konkrétnu metodiku stanovenia popisuje **Metodický pokyn odboru odpadů** ke stanovení ekotoxicity odpadů [23].

3.4 Legislatívny rámec Slovenskej republiky

Základným dokumentom pre oblasť vodného hospodárstva je **Zákon č. 364/2004 Z.z.** o vodách a o zmene a doplnení zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon) [8].

Vykonávacími vyhláškami, týkajúcimi sa odpadových vôd, sú predovšetkým **Vyhláška Ministerstva životného prostredia č. 315/2004 Z. z.**, ktorou sa ustanovuje rozsah a početnosť odberu vzoriek a požiadavky na rozsah a vykonávanie rozborov odpadových vôd; **Vyhláška Ministerstva životného prostredia č. 397/2003 Z. z.**, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o meraní množstva vody dodanej verejným vodovodom a množstva vypúšťaných vôd, o spôsobe výpočtu množstva vypúšťaných odpadových vôd a vôd z povrchového odtoku a o smerných číslach spotreby vody a **Vyhláška Ministerstva životného prostredia č. 100/2005 Z. z.**, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o zaobchádzaní s nebezpečnými látkami, o náležitostiach havarijného plánu a o postupe pri riešení mimoriadneho zhoršenia vôd. Dôležité je tiež **Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 269/2010 Z.z.**, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd v znení nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 398/2012 Z.z. a **Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 617/2004 Z.z.**, ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti.

V súvislosti s monitoringom kvality povrchových vôd, na ktorú majú vplyv aj vypúšťané odpadové vody, treba spomenúť **Nariadenie vlády Slovenskej republiky zo 17. augusta 2011**, ktorým sa vyhlasuje záväzná časť Vodného plánu Slovenska obsahujúca program opatrení na dosiahnutie environmentálnych cieľov, **Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 270/2010 Z.z.**, o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky a **Vyhlášku Ministerstva životného prostredia č. 73/2011 Z. z.**, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o stanovení významných a trvalo vzostupných trendov koncentrácií znečisťujúcich látok v podzemných vodách a o postupoch na ich zvrátenie [24].

3.4.1 Požadované rozborov pre stanovenie fyzikálno-chemických ukazovateľov

Minimálny rozsah rozborov odpadových vôd zahŕňa rovnako ako v českej legislatíve stanovenie BSK₅ (BOD₅), CHSK_{Cr} (COD_{Cr}), NL, amoniakálny a celkový dusík a celkový fosfor [25]. Ďalšie ukazovatele, týkajúce sa hodnotenia znečistenia priemyselných odpadových vôd, sa rovnako ako ostatné základné pokyny tiež prakticky zhodujú s českou legislatívou.

3.4.2 Požadované ekotoxikologické skúšky

Povinnosť stanoviť hodnoty ukazovateľov znečistenia pre priemyselné odpadové vody a osobitné vody vypúšťané do povrchových vôd vrátane stanovenia ekotoxicity na vodných organizmoch vznikla na Slovensku v roku 2005 Nariadením vlády SR č. 296/2005 Z.z. Toto nariadenie bolo neskôr nahradené Nariadením vlády č. 269/2010. Na stanovenie ekotoxicity sa používa limitná skúška toxicity (TOX_{lim}), ktorá je však požadovaná len pre vybrané skupiny priemyslu. Indikátorom toxicity je výsledok viac ako 50% účinku limitnej skúšky toxicity jedného z organizmov použitých v skúške [11, 25].

V prípade výsledku $TOX_{lim} \geq 50\%$ je potrebné skúšku opakovať na potvrdenie pozitívneho toxického účinku, po jeho potvrdení sa majú vykonať ďalšie analýzy na stanovenie konkrétnych toxických látok. Na potvrdenie účinnosti vykonaných opatrení je nutné vykonať potvrdzujúce limitné skúšky toxicity, pri ktorých nesmie byť preukázaný toxický účinok [26]. Pri zistení toxického účinku je potrebné vykonať ďalšie analýzy na zistenie toxických látok, nakoľko TOX_{lim} má len indikatívny význam [27].

Skupiny priemyslu, pre ktorý je požadované vykonanie skúšky TOX_{lim} [25]:

1. Ťažba a spracovanie kameniva
2. Hutnícky priemysel – metalurgia neželezných kovov
3. Strojársky a elektrotechnický priemysel
 - a) povrchová úprava kovov a plastov
 - b) tepelné úpravy
 - c) smaltovanie
 - d) lakovne
 - e) elektronická výroba, výroba galvanických článkov
4. Chemický priemysel
 - a) výroba liečiv
 - b) výroba hnojív
 - c) iné druhy organických výrob chemického priemyslu
5. Spotrebný priemysel
 - a) textilný priemysel
 - b) sklárne a výroba minerálnych vlákien
 - c) kožiarsky priemysel
 - d) výroba azbestocementu, azbestovej krytiny a azbestového papiera
 - e) výroba TiO_2
6. Ostatné
 - a) autoopravovne
 - b) spaľovne odpadov a zariadenia na spoluspaľovanie
 - c) skládky odpadov (priesakové vody)

4 EKOTOXIKOLÓGIA ODPADOVÝCH VÔD

Vôbec prvé pozorovania ekotoxikologických účinkov kontaminantov začali už počas priemyselnej revolúcie a týkali sa práve priemyselných odpadových vôd. Penny a Adams (1863) a neskôr Weigelt, Saare a Schwab (1885) vykonali prvé testy akútnej toxicity na vodných organizmoch. V roku 1887 Forbes zaviedol zonáciu znečistenia riek na základe tolerancie druhov. Prvá štandardná metóda je z roku 1945 a bola založená na predpoklade, že významnejším indikátorom znečistenia ako samotné fyzikálne a chemické merania je prítomnosť, resp. absencia druhov vo vodnom ekosystéme. Túto metódu publikovali Hart a kol. a bola postupne prijatá ASTM (American Society for Testing and Materials) [28, 29].

V 60. rokoch 20. storočia začali byť vyvíjané metódy, schopné popísať toxické účinky ľuďmi produkovaných xenobiotík na životné prostredie a organizmy. V tomto období bol Truautom po prvýkrát definovaný termín ekotoxikológia (1969) [29]. O systematické zavádzanie metód testovania toxicity na rybách sa zaslúžili Mount a Sprague. Okrem priamych toxických účinkov začala byť sledovaná aj biokoncentrácia a bioakumulácia spolu s biomagnifikáciou látok [10]. Od 80. rokov bolo publikovaných množstvo metód testovania toxicity na vodných organizmoch za účelom odhadnutia účinkov látok na vodné ekosystémy, vyvíjali sa metódy hodnotenia na úrovni spoločenstiev.

V súvislosti s testovaním toxicity odpadových vôd má význam ako stanovenie toxicity surovej odpadovej vody, čo má vplyv na voľbu a zvýšenie účinnosti čistiarenskeho procesu, tak aj posúdenie toxicity po prečistení, pred vypustením do recipientu. Okrem toho prichádza do úvahy testovanie prípadnej toxicity počas aktivácie pri čistení, a taktiež posúdenie negatívnych účinkov havárií prieniku odpadových vôd do povrchových či podzemných vôd.

4.1 Účinky odpadových vôd na vodné ekosystémy

Odpadové vody, a to predovšetkým priemyselné, sú veľmi často zmesou viacerých nebezpečných a zvlášť nebezpečných látok. Zmes takýchto látok môže mať na organizmus kombinovaný vplyv, a to buď aditívny, antagonistický alebo synergický. Pri aditívnom účinku sa vplyvy sčítajú, celková toxicita je teda rovná sume toxicity jednotlivých zlúčenín. Tento typ interakcie je typický pre látky s rovnakým mechanizmom účinku. Pri antagonistickom jednotlivé vplyvy interferujú a výsledná toxicita je nižšia ako suma toxicity jednotlivých zlúčenín. Synergizmus, resp. potenciácia vplyvov zapríčiňuje, že výsledný účinok je väčší než pri prostom sčítaní toxicít jednotlivých látok. [30, 31]

Účinky sa pritom môžu vzhľadom na cieľový organizmus líšiť, napr. kombinovaná toxicita zinku a kadmia je pre ryby aditívna, pre riasu *Hormidium rivulare* synergistická. [9]

Škodlivé účinky odpadových vôd zahŕňajú [32]:

- a) mechanické pôsobenie – účinok nerozpustených látok,
- b) ovplyvnenie kyslíkových pomerov – najmä prísunom organických biodegradabilných látok, negatívny účinok majú aj vody s výrazne vyššou teplotou a penivé a olejovité látky, vytvárajúce film na hladine,
- c) zmenu prirodzenej hodnoty pH – táto zmena má vplyv na optimálne podmienky pre výskyt organizmov, ako aj na rovnováhu medzi disociovanými a nedisociovanými formami látok,
- d) zvýšenie trofie recipientu – spôsobené odpadovými vodami s vysokým obsahom anorganických látok, predovšetkým dusíka a fosforu,
- e) toxické pôsobenie.

4.2 Akvatické biotesty

Hlavným cieľom biotestov je stanovenie hraničnej koncentrácie závadných látok, pri ktorej je ešte možný život testovacích organizmov. Na hodnotenie toxicity odpadových vôd sú vzhľadom na testovanú maticu – vodu, vhodné akvatické biotesty. Ich ďalšie využitie zahŕňa hodnotenie novo vyvinutých, do praxe zavádzaných chemických látok, posúdenie toxicity odpadov určených na skládky apod.

Biotesty sa môžu vykonávať na úrovni buniek a tkanív, na úrovni organizmov a na úrovni biocenóz. Rozdelenie podľa doby expozície rozlišuje akútne, semichronické a chronické biotesty; ďalej sa delia na testy statické, prietokové, biokoncentračné a testy biodegradability [27, 30, 32].

4.2.1 Testy 1. generácie

Sú to tzv. klasické (konvenčné, štandardné) biotesty. Ich výhodou je vysoká jednoduchosť, opakovateľnosť a porovnateľnosť výsledkov, výsledky sú validované. Nevýhodou je obmedzená a vysoko špecifická výpovedná hodnota a taktiež obmedzený počet štandardizovaných postupov, navyše sú tieto testy vhodné skôr na stanovenie akútnych účinkov [23]. Podľa trofických úrovní sa biotesty 1. generácie delia na [31, 33, 35]:

1. biotesty s producentmi

- a) riasové testy toxicity – so sinicami, s morskými či so sladkovodnými riasami; môžu využívať jednodruhové alebo multidruhové kultúry
- b) biologická skúška na *Lemna* sp. (*Lemna minor* a *Lemna gibba*) – inhibícia rastu

2. biotesty s konzumentmi

- a) s bezstavovcami – kôrovce (*Crustaceae*): *Daphnia magna* (najčastejšie využívané, skúška akútnej toxicity na základe inhibície pohyblivosti), *Daphnia pulex*, *Ceriodaphnia dubia*, *Artemia salina*, *Thamnocephalus platyurus*, bentické kôrovce; vírniky (*Rotifera*): *Brachionus calyciflorus*; mäkkýše (*Mollusca*): *Potamopyrgus antipodarum*; obrúčkavce (*Annelida*): *Tubifex tubifex*; hmyz (*Insecta*): *Chironomus tentans*,
- b) so stavovcami – ryby (testy akútnej a chronickej toxicity, prolongované testy toxicity, embryonálne a embryolarové testy, testy ovplyvňujúce rast nedospelých rýb): *Brachydanio rerio*, *Cyprinus carpio*, *Poecilia reticulata*...; obojživelníky: žaby – skokany (*Rana* sp.) a ropuchy (*Bufo* sp.); mloky,

3. biotesty s deštruentmi

- a) s baktériami – testy jednodruhové alebo s komplexnými spoločenstvami baktérií, najčastejšie sa hodnotí inhibícia rastu alebo definovaná metabolická aktivita,
- b) mikrobiálne testy na kvasinkách, vláknitých hubách – k testom na kvasinkách patrí napríklad test GreenScreen EM, ktorý slúži na hodnotenie genotoxicity a cytotoxicity a využíva sa ako súčasť rutinného skríningu akvatických vzoriek.

K testom prvej generácie patria aj jednodruhové rozšírené laboratórne štúdie toxicity s riasami, bezstavovcami a rybami. Tieto testy na rozdiel od konvenčných testov umožňujú napr. zahrnutie sedimentu, zmenu chemickej koncentrácie látky v čase alebo periodickú reindukciu organizmov [31, 33].

4.2.2 Testy 2. generácie

Ide o tzv. alternatívne testy a mikrobiotesty, ktoré zatiaľ neboli regulujúcimi organizáciami validované. Ich výhodou je predovšetkým miniaturizácia a skrátenie inkubačnej doby, rýchlosť a jednoduchosť. Mikrobiotesty možno rozdeliť do troch skupín, a to na mikrobiotesty využívajúce pokojové štádiá zooplanktónu, riasové mikrobiotesty a bakteriálne testy toxicity. Najbežnejší je bakteriálny bioluminiscenčný test Microtox s morskými baktériami *Vibrio fischeri* [33].

4.2.3 Testy 3. generácie

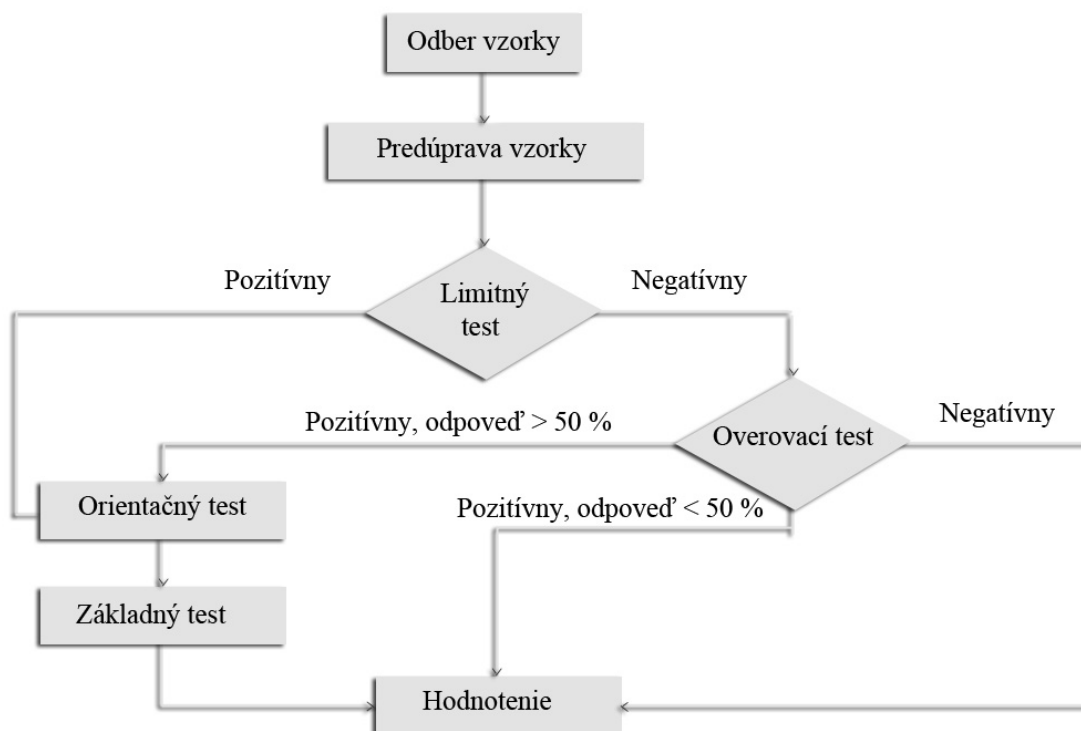
Do tejto skupiny testov patria testy využívajúce biosenzory, biosondy, biomarkery a viacdruhové hodnotenia toxicity. Samostatnou kategóriou sú štúdie priamo v prostredí (*in situ*) v mikro- a mezokozmoch.

Biosenzory patria do skupiny chemických senzorov a využívajú vysokú citlivosť a selektivitu aktívnych biologických látok [36]. Biomarkery sú biochemickými, fyziologickými alebo histologickými indikátormi expozície alebo vplyvov xenobiótík, a to na suborganizmálnej alebo organizmálnej úrovni [33]. Ich výhoda spočíva v odpovedi len na tie polutanty, ktoré sú pre organizmus dostupné, slúžia na stanovenie toxicity závislej na špecifických intracelulárnych receptoch (receptory dioxínovej či estrogénnej aktivity).

4.3 Vykonanie testu toxicity

Pri hodnotení nepriaznivých účinkov vzorky na ekosystém je potrebné zvoliť testovací systém, ktorý je schopný zaznamenať možné účinky toxikantu na rôzne biologické druhy. Na silu účinku má veľmi výrazný vplyv expozícia, ktorá môže byť dlhodobá či krátkodobá, opakovaná či jednorazová [31].

Odporúčaná sekvencia testov zahŕňa limitný test, overovací test, orientačný test a základný test (Obrázok 1). **Limitný**, resp. **predbežný test**, je prvou skúškou, pri ktorej sa zisťuje, či látka vykazuje toxické účinky. Ak nie je pozorovaná odpoveď testovacieho systému, test je hodnotený ako negatívny a nasleduje **overovací test**. Ak je jeho výsledok opäť negatívny, ďalšie testy sa nevykonávajú. Pri pozitívnom výsledku (ak je miera sledovanej odpovedi vyššia ako 50 %), rovnako ako pri pozitívnom výsledku limitného testu, je potrebný **orientačný test**. Jeho účelom je stanovenie rozmedzia, v ktorom možno očakávať hodnotu EC50. Výsledkom je orientačná koncentrácia 0 – OC 0, tj. najvyššia koncentrácia vzorky, pri ktorej ešte nemá na testované organizmy toxické účinky; a orientačná koncentrácia 100 – OC100, tj. najnižšia koncentrácia, pri ktorej dochádza k 100% odpovedi testovacieho systému. Pomocou týchto hodnôt sa pripraví koncentračný (zried'ovací) rad, ktorý má obvykle charakter geometrického radu. Ten sa použije pre **základný test**. Výsledkom základného testu je určenie hodnoty EC50 (LC50, IC50). [19, 31]



Obrázok 1 Postup pri určovaní toxicity neznámej vzorky [31]

4.4 Niektoré používané indexy na vyhodnotenie toxicity

Percentuálna inhibícia I (%), resp. **IC50** – udáva mieru inhibičného účinku látky na danú biologickú alebo biochemickú funkciu testovaného organizmu.

EC50 – koncentrácia vzorky s účinkom na 50% organizmov (efektívna koncentrácia)

LD50 – stredná letálna (smrteľná) dávka), tj. také dávka, ktorá spôsobuje úhyn 50 % testovaných organizmov.

TU – toxické jednotky; niekedy sa rozlišujú na akútne TU_A a chronické TU_C .

$$TU_A = \frac{100}{EC50} \quad (1)$$

$$TU_C = \frac{100}{NOEC} \quad (2)$$

NOEC – koncentrácia vzorky, ktorá nevykazuje žiaden pozorovateľný efekt (no observed effect concentration)

LOEC – najnižšia koncentrácia pozorovaného účinku (lowest observed effect concentration), tj. najnižšia testovaná koncentrácia, pri ktorej je v štúdiu pozorovaný štatisticky významný účinok v exponovanej populácii v porovnaní s príslušnou kontrolnou skupinou.

Index hodnotenia potenciálneho nebezpečenstva (potential hazard assessment) **PHA** je index vplyvu na vodný tok/recipient (USEPA – NPDES 1992). Zohľadňuje toxicitu vypúšťanej odpadovej vody ako aj recipientu, a ich prietoky [30].

$$Tr = \frac{Q_s \cdot T_s + Q_c \cdot T_c}{Q_s + Q_c} \quad (3)$$

T_r	reziduálna toxicita recipientu (v TU), kritériá kvality (EPA 1991): 0,3 pre akútne analýzy, 1,0 pre chronické a semi-chronické analýzy
Q_s	prietok vypúšťanej odpadovej vody
T_s	toxicita vypúšťanej odpadovej vody (v TU)
Q_c	prietok recipientu
T_c	toxicita recipientu eventuálne prítomná pred vypustením odpadovej vody (v TU)

Potenciál toxického vplyvu (Potential of toxic impact) **PTV** vyjadruje pravdepodobnosť akútneho toxického účinku vypúšťaných odpadových vôd na organizmy ekosystému. Jeho stanovenie definuje norma TNV 757768 – Hodnocení účinnosti průmyslových odpadních vod pomocí toxikologického stanovení. Hodnotí sa najprv toxicita neupravenej odpadovej vody, následne sa zistí najcitlivejší organizmus, ktorý je podrobený ďalším analýzám. Podľa výsledkov toxikologickej skúšky sa spraví výber chemických stanovení látok s negatívnym účinkom na testované organizmy. Najcitlivejší organizmus sa použije v batérii testov na vplyv NL, pH, kovov, oxidačných činidiel, organických látok a zmeny v čase. V poslednom kroku sa určí hlavná zložka, zapríčiňujúca negatívne účinky odpadovej vody. Hodnota tohto indexu by nemala prekročiť 0,1. Hodnota PTV = 1 zodpovedá EC50 [32, 37].

$$PTV = \frac{C_r}{EC50} \quad (4)$$

C_r zriedenie odpadovej vody v recipiente;

$$C_r = 100 \cdot \frac{Q_{ov}}{Q_{355}} \quad (5)$$

Q_{ov} priemerný odtok odpadovej vody
 Q_{355} 355-denný prietok vody v recipiente

Index hodnotenia potenciálneho účinku (Potential Effect Index) **PEI** je index hodnotenia celkového nebezpečenstva vypúšťaného odpadu. Vychádza z kanadskej metódy, schválenej organizáciou ARPA Piemonte. Zahŕňa toxické účinky jednotlivých biotestov, trofické ciele, celkovú toxicitu a rýchlosť prietoku. Podľa Kanadskej agentúry pre životné prostredie je od hodnoty indexu PEI väčšej ako 3 potrebná hĺbková analýza výrobného cyklu a eliminácia príčin toxicity [30].

$$PEI = \log_{10} \left[1 + n \cdot \left(\sum_{i=1}^N \frac{T_i}{N} \right) \cdot Q \right] \quad (6)$$

T	toxické jednotky
N	maximálny počet možných toxických odpovedí
n	počet získaných toxických odpovedí
Q	prietok priemyselnej odpadovej vody
$\sum_{i=1}^N T$	suma toxických jednotiek
$\sum_{i=1}^N \frac{T}{N}$	priemerná toxicita

$$n \cdot \left(\sum_{i=1}^N \frac{T}{N} \right) \quad \text{toxický dopad}$$

$$n \cdot \left(\sum_{i=1}^N \frac{T}{N} \right) \cdot Q \quad \text{toxické zaťaženie}$$

4.5 Používané metódy a batérie testov v Českej republike a na Slovensku

Na zistenie toxicity surových odpadových vôd sa používajú testy akútnej toxicity. Najbežnejšie používané sú biotesty prvej generácie. Na rýchlu detekciu sa využívajú screeningové testy ako napr. Microtox (metóda inhibície bioluminiscencie baktérií *Vibrio fischeri*), a embryolarové testy toxicity [9].

Na overenie prípadnej toxicity počas aktivácie sú vhodné testy chronickej inhibície vložkovitých baktérií, testy na prvokoch a merania respiračnej aktivity (test inhibície respirácie aktivovaného kalu) [9, 31]. Inhibícia respirácie aktivovaného kalu sa využíva v aeróbných systémoch biologického čistenia odpadových vôd. Najčastejšie používaným testom je Polytox, využívajúci zmes bakteriálnych kultúr izolovaných z odpadových vôd. Respiračná aktivita kultúr v prítomnosti toxikantu sa v tomto teste meria pomocou kyslíkovej elektródy. [33]. V papierenskom a energetickom priemysle s aplikáciou biocídov a inhibítorov korózie je vhodné vykonať testy akútnej i chronickej toxicity [38].

Na hodnotenie účinnosti čistiarenskeho procesu a posúdenie možných vplyvov odtokov z čistiarní na recipient, tj. posúdenie toxicity vyčistených odpadových vôd je potrebné vykonať stanovenie zvyškovej (reziduálnej), subchronickej a chronickej toxicity. K tomuto účelu sú vhodné metódy Microtox, mikrobiotesty a štandardizované biotesty 1. generácie. V citlivých oblastiach (najmä v miestach určených na rekreáciu) sa na zistenie vplyvu odtokov z ČOV navyše volia metódy *in situ* – nárazové testy na prirodzených i umelých podkladoch či umiestnenie detekčných membrán SPMD v sledovanej oblasti [9].

Pri výbere vhodnej batérie testov je zásadou použitie organizmov z troch trofických úrovní. Podľa Fargašovej ideálny testovací systém zahŕňa konzumenta primárneho, sekundárneho, terciárneho i kvartérneho, primárneho producenta a deštruenta (bentos) [35].

Odporúčaná batéria testov v Českej republike zahŕňa tieto testy [9, 19, 32]:

- 48 až 96-hodinový akútny test toxicity na rybách (*Brachydanio rerio*, príp. *Poecilia reticulata*),
- 24 až 48-hodinový imobilizačný test na perloočkách (*Daphnia magna*),
- 72-hodinový rastovoinhibičný test na sladkovodných zelených riasach (*Raphidocelis subcapitata*, *Scenedesmus quadricauda*),
- stanovenie inhibičného účinku vzorky na svetelnú emisiu *Vibrio fischeri*.

Postup skúšky podľa normy TNV 757768 – Hodnocení účinnosti čištění průmyslových odpadních vod pomocí toxikologického stanovení začíná testom účinku neupravenej odpadovej vody. Pri hodnotení toxicity upravenej odpadovej vody sa stanovuje vplyv nerozpustených látok, odstránených filtráciou, ďalej vplyv pH, kovov, oxidačných činidiel, organických látok a vplyv spontánnych zmien, ku ktorým môže dochádzať s časom v dôsledku chemických reakcií medzi obsiahnutými látkami, ako aj účinkom baktérií prítomných v odpadovej vode. Na záver sa určí hlavná zložka či vlastnosť, ktorá spôsobuje negatívny účinok odpadovej vody a vypočíta sa potenciál toxického vplyvu. Výsledky skúšky sa vzťahujú iba na možné akútne účinky, chronický vplyv tak nie je vylúčený [32].

Slovenská legislatíva predpisuje limitnú skúšku toxicity vykonanú s použitím minimálne troch testov s organizmami na 3 trofických úrovniach, tj. nasledujúca batéria [27]:

- a) kôrovce (*Daphnia magna*) / ryby (*Poecilia reticulata*)
 - b) riasa (*Desmodesmus subspicatus*) / vyššia rastlina (*Sinapis alba*) / vyššia vodná rastlina (*Lemna minor*)
 - c) mikroorganizmy (*Vibrio fischeri*) / respiračný test s aktivovaným kalom
- V oblasti odpadov je používaná batéria testov [23]:
- a) akvarijná ryba – *Poecilia reticulata* alebo *Brachydanio rerio*; expozičná doba 96 hod.
 - b) perloočka – *Daphnia magna*; expozičná doba 48 hod.
 - c) sladkovodná riasa – inhibícia rastu *Desmodesmus subspicatus* alebo *Pseudokirchneriella subcapitata*; expozičná doba 72 hod.
 - d) semeno vyššej rastliny – horčica biela (*Sinapis alba*); expozičná doba 72 hod. (test priamo vyvinutý na testovanie neškodnosti odpadových vôd [39]).



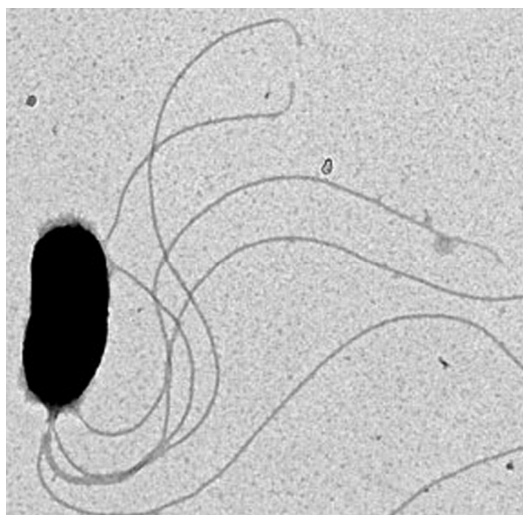
Obrázok 2 *Brachydanio rerio* [40]



Obrázok 3 *Poecilia reticulata* [41]



Obrázok 4 *Daphnia magna* [42]



Obrázok 5 *Vibrio fischeri* [43]



Obrázok 6 *Lemna minor* [44]

Podľa Kočího a Mocovej sú v súvislosti s problematikou toxicity odpadových vôd ďalšími vhodnými testami napríklad [31]:

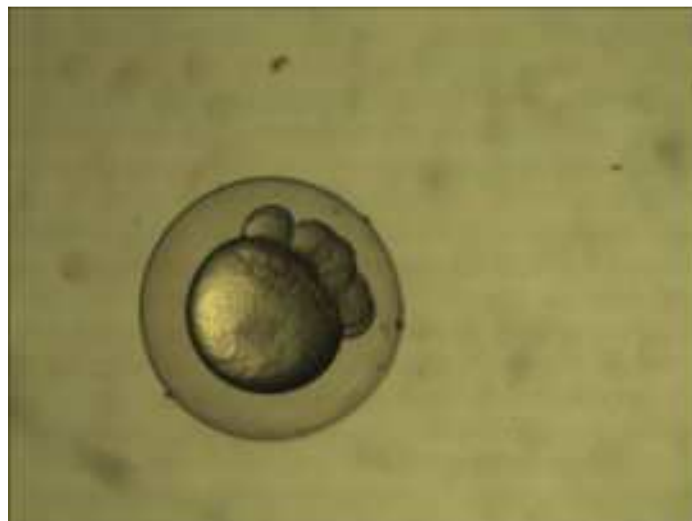
- a) akútny test toxicity na hepatocytoch pstruha dúhového (*Oncorhynchus mykiss*), ktorý spočíva v expozícii buniek z pečene nedospelého pstruha,
- b) test toxicity s ikrami dáňa pruhovaného (*Brachydanio rerio*), výhodou tohto alternatívneho testu je, že môže nahradiť testy na rybách, nakoľko jeho výsledky sú porovnateľné s výsledkami testov na dospelých jedincoch [45, 46],
- c) test toxicity na žiabronožke slaniskovej (*Artemia salina*) – vhodný pre odpadové vody s vysokou koncentráciou solí, nakoľko žiabronožka žije v slaných vodách, nevýhodou testu je pomerne nízka citlivosť [47],
- d) test toxicity na nezmare (*Hydrae vulgaris*, *Hydrae viridissima*) – je citlivý najmä na kovy, na organické látky má nízku citlivosť,
- e) indukcia vitellogenínu – patrí medzi testy 3. generácie a slúži na stanovenie endokrinných disruptorov



Obrázok 7 Oncorhynchus mykiss [48]



Obrázok 8 Sinapis alba [49]



Obrázok 9 Ikry Brachydanio rerio [45]

4.6 Priama toxicita odpadových vôd

Priama toxicita odpadových vôd (whole effluent toxicity, WET) je termín popisujúci celkové škodlivé alebo toxické účinky odpadovej vody na populáciu vodných organizmov, vystavených jej pôsobeniu [50]. Toxicita sa stanovuje v laboratórnych podmienkach pomocou WET testov expozíciou citlivých organizmov účinkom odpadovej vody, pričom sa sleduje miera negatívnych efektov na rast a reprodukciu organizmov a ich prežitie.

Vývoj metodiky WET začal v 50. rokoch 20. storočia v USA, kde je od roku 1984 povinnou súčasťou kontroly znečistenia odpadových vôd.

Význam testov WET spočíva v možnosti stanovenia a následnej regulácie kombinovaných efektov všetkých zložiek odpadovej vody, na rozdiel od konvenčných metód sledovania koncentrácie a toxicity jednotlivých zlúčenín, obsiahnutých vo vode. Keďže nie je možné kvalitatívne a kvantitatívne stanoviť všetky látky prítomné vo vode – zoznam stanovovaných látok je relatívne krátky a ich koncentrácie sú často za medzou detekcie, navyše nie je možné predpovedať kombinované účinky jednotlivých látok, väčšiu výpovednú hodnotu má komplexné stanovenie účinkov odpadovej vody na ekosystém [51, 52].

Testy WET sa môžu vykonávať ako jednodruhovú i multidruhovú, v laboratórnych podmienkach aj *in situ*. S ohľadom na recipient, do ktorého sú prečistené odpadové vody vypúšťané, sa testy WET vykonávajú buď na sladkovodných alebo na morských vodných organizmoch, vždy s viacerými koncentraciami testovanej odpadovej vody.

4.6.1 Vzťah medzi stanovením WET a analytickým stanovením

Ako už bolo spomínané, výhodou prístupu WET je možnosť posúdenia komplexného účinku vzorky odpadovej vody na organizmus. Vzorka môže vykazovať toxické účinky i v prípade, že pri analytickom stanovení závadných látok nebolo zistené prekročenie emisných štandardov pre žiaden ukazovateľ. Porovnanie výsledkov stanovenia toxicity odpadových vôd pomocou prístupu WET a analytického stanovenia bolo prvýkrát detailnejšie skúmané v Srbsku [52]. Celková toxicita (WET) bola stanovená testom akútnej toxicity na *Daphnia magna*, chemická toxicita sa overovala stanovením koncentrácie legislatívou predpísaných kontaminantov. Vo výsledku stanovenie WET často preukázalo toxicitu aj v prípadoch, kedy boli vo vzorke splnené všetky požiadavky na najvyššiu prípustnú koncentráciu kontaminantov. Toto porovnanie predpokladanej a pozorovanej toxicity dokázalo, že celková toxicita skutočne zodpovedá výsledkom získaným stanovením koncentrácie závadných látok vo vzorke len čiastočne.

Napriek mnohým výhodám má prístup WET i nevýhody. Presnosť a spoľahlivosť metódy je znižovaná nepresnosťami spôsobenými prirodzenou variabilitou testov v dôsledku biotických i antropogénnych faktorov, medzidruhovými rozdielmi (v rámci laboratória i medzi laboratóriom a skúmanou oblasťou) a ďalšími rozdielmi medzi laboratórnymi podmienkami a recipientom [53, 54, 55]. Problémom je tiež identifikácia toxicity spôsobenej látkami, ktoré nie sú v čase skúšky biodostupné [56].

V komplexných postupoch hodnotenia rizika majú WET testy význam predovšetkým ako prvý stupeň – indikujú možné riziko, nie však pravdepodobnosť jeho účinku na recipient [54]. Samotnou metódou WET nie je možné (ani to nie je účelom) identifikovať konkrétne látky, ktoré spôsobili prípadné nežiaduce účinky vzorky. Tomuto účelu slúžia ďalšie metódy. Po zhodnotení toxicity vzorky odpadovej vody teda nasleduje proces identifikácie toxicity (toxicity identification evaluation TIE), ktorým sa určia ukazovatele spôsobujúce toxicitu

vzorky. Po identifikácii nasleduje posledný krok, ktorým je proces odstránenia toxicity (toxicity reduction evaluation TRE) [51, 54, 55].

4.6.2 Využitie WET

Metóda WET poskytuje efektívny a relatívne lacný spôsob skríningu odpadových vôd s identifikáciou tých odpadových vôd, ktoré by mali významný negatívny dopad na vodné organizmy. Na tento účel sú obzvlášť vhodné akútne testy toxicity, ktoré umožňujú otestovanie veľkého množstva vzoriek v relatívne krátkom čase. Netreba však zabúdať ani na chronickú toxicitu, ktorá sa môže prejavovať i v prípadoch, kedy akútna toxicita nebola zistená.

Na analýzu výsledkov testov sa využívajú dva základné princípy. Prvý porovnáva výsledky testov s rôzne zriedenou vzorkou odpadovej vody a s netoxickou referenčnou vodou, čím sa určí, pri akej koncentrácii významne poklesne odpoveď testovaných organizmov. Druhý prístup slúži na vytvorenie štatistického modelu závislosti medzi koncentráciou vzorky a odpoveďou testovaných organizmov. Pomocou tohto modelu potom možno určiť koncentrácie, ktoré vyvolajú vybraný efekt (napr. 25% inhibícia rastu, 50% mortalita) [51, 57]. Pomocou testov WET je teda možné zhodnotiť účinok vypúšťanej odpadovej vody na ekosystém a vytvoriť bilančné modely ovplyvnenia recipientov odpadovými vodami [10, 55].

4.6.3 Prístupy stanovenia WET vo vybraných krajinách

Metódy WET sú v niektorých krajinách povinnou súčasťou rozborov odpadových vôd – patrí sem napríklad USA, Kanada, Nový Zéland a Írsko, v mnohých ďalších krajinách prebiehajú štúdie.

Prístupy WET sa v jednotlivých krajinách navzájom líšia, či už použitou batériou testov, hodnotiacimi kritériami alebo spôsobom hodnotenia výsledkov štúdie. Nasledujúce kapitoly približujú vykonané štúdie v niektorých krajinách Európskej Únie.

4.6.3.1 Slovensko – Twinning projekt SK05/IB/EN/01

Cieľom projektu bolo uskutočnenie ekotoxikologickej kampane pre priemyselné odpadové vody v rámci troch prípadových štúdií na troch recipientoch (petrochemické zariadenie; priemysel s rôznorodými technikami spracovania plastov a kovov; kovoobrábací priemysel). Taktiež bolo cieľom stanoviť a doplniť environmentálne normy kvality pre všetky vypúšťané zvlášť nebezpečné a nebezpečné látky, ktoré ešte neboli v slovenskej legislatíve definované.

Stanovenými parametrami boli percentuálna inhibícia (I %), koncentrácia s účinkom na 50 % organizmov (EC50) a toxické jednotky podľa metódy Sprague a Ramsay (TU = 100/EC50) [30].

Aplikované biotesty:

- a) akútna toxicita po 24 a 48 h s *Daphnia magna* – vodný kôrovec,
- b) akútna toxicita po 15 minútach a po 30 minútach s *Vibrio fischeri* – vodná baktéria,
- c) chronická toxicita po 72 h so *Scenedesmus subspicatus* – vodná riasa,
- d) chronická toxicita po 72 h so *Sinapis alba* – semeno vyšších rastlín.

4.6.3.2 Pobaltská oblasť – COHIBA project

Oblasť pobrežia Baltského mora je sústavne znečisťovaná vypúšťaním odpadových vôd s rôznym obsahom znečistenia. Projekt COHIBA (Control of hazardous substances in the Baltic Sea) prebiehal od roku 2009 do roku 2012 a zapojilo sa doň Dánsko, Estónsko, Fínsko, Nemecko, Poľsko, Lotyšsko a Švédsko. Cieľom bola predovšetkým identifikácia hlavných zdrojov znečistenia (vybraných 11 závadných látok) v oblasti. Popri chemicko-analytických stanoveniach bolo vykonaných viac než tisíc biotestov na vzorkách mestských i priemyselných odpadových vôd. Výsledky preukázali škodlivé účinky väčšiny vypúšťaných odpadových vôd, pričom významná bola predovšetkým chronická toxicita. Navyše takmer všetky vzorky, obzvlášť z mestských odpadových vôd, vykazovali jednak výrazné estrogénne účinky, jednak spôsobovali zníženie schopnosti hepatocytov rýb eliminovať závadné látky [53, 55].

Aplikované biotesty:

- a) akútna toxicita po 24 a 48 h – imobilizácia *Daphnia magna*,
- b) akútna toxicita po 24 h – mortalita *Thamnocephalus platyurus*,
- c) akútna toxicita po 24 h – mortalita *Brachionus calyciflorus*,
- d) akútna toxicita po 24 h – inhibícia rastu *Tetrahymena thermophila*,
- e) akútna toxicita po 15 a 30 min. s *Vibrio fischeri*,
- f) chronická toxicita po 72 h – inhibícia rastu jednobunkových zelených rias *Dedmodesmus subspicatus*, *Pseudokirchinella subcapitata*,
- g) elektrofyziológický test rias *Charophyta* po 90 min na *Nitellopsis obtusa*,
- h) riasy *Charophyta* – mortalita buniek po 96 h,
- i) inhibícia rastu *Lemna minor* po 7 dňoch,
- j) chronická toxicita po 21 dňoch – skúška reprodukcie *Daphnia magna*,
- k) test na ikrách *Danio rerio* po 10 – 14 dňoch,
- l) Umu-test na stanovenie genotoxicity na baktérii *Salmonella typhimurium* po 4 h,
- m) Amesova skúška genotoxicity so *Salmonella typhimurium*,
- n) *in vitro* test Micronucleus – test genotoxicity na bunkách škrekča čínskeho,
- o) aktivita etoxyrezorufín-O-deetylázy (EROD) – test na rybích hepatocytoch (biomarker),
- p) indukcia vitellogenínu – test na rybích hepatocytoch (napr. *Salmo trutta*) – stanovenie endokrinných disruptorov po 72 h,
- q) YES (Yeast Estrogen Screen) – *in vitro* stanovenie estrogénnych disruptorov po 72 h,
- r) YAS (Yeast Androgen Screen) – *in vitro* stanovenie androgénnych disruptorov po 72 h,
- s) ďalšie testy na morských organizmoch (riasa, kôrovec).

4.6.3.3 Portugalsko – povodie rieky Trancão

V tejto prípadovej štúdii boli testované vzorky zo sedemnástich oblastí z chemického, potravinárskeho, opravárenského, kovospracujúceho a papierenského priemyslu, z recyklácie obalov, úpravy povrchov z laboratórií. Účelom štúdie bolo predovšetkým zhodnotenie účinkov vypúšťaných priemyselných odpadových vôd na recipient, výber vhodnej batérie testov pre ďalšie štúdie spolu so snahou o implementáciu využívania ekotoxikologických skúšok do bežnej praxe a do legislatívy. Cieľom bolo tiež vytvorenie hydrodynamického modelu povodia rieky Trancão na základe výsledkov skúšok toxicity. Stanovené boli fyzikálno-chemické i ekotoxikologické ukazovatele [58].

Aplikované biotesty:

- a) akútna toxicita s *Vibrio fischeri*,
- b) akútna i chronická toxicita s *Daphnia magna*,
- c) test s *Thamnocephalus platyurus*,
- d) test s *Pseudokirchneriella subcapitata*,
- e) test s *Lemna minor*,
- f) testy s *Daphnia magna* a *Vibrio fischeri* pre vzorky z recipientu.

4.6.3.4 Francúzsko

Problémom vo Francúzsku bolo dlhodobo vysoké znečistenie riek ako dôsledok vypúšťania odpadových vôd. Plán Saint-Laurent si kládol za úlohu znížiť toxicitu 50 zdrojov znečistenia odpadovou vodou z priemyslu, a to až o 90 %. [59]

Aplikované biotesty:

- a) akútna toxicita s *Vibrio fischeri*,
- b) 96-hodinový riasový test toxicity so *Selenastrum capricornutum*,
- c) akútna i chronická toxicita s *Daphnia magna*,
- d) test genotoxicity.

Všetky testy okrem chronickej toxicity s *Daphnia magna* boli vykonané pred i po 5-dňovom biodegradačnom intervale.

4.6.3.5 Nemecko – kovospracujúci a papierenský priemysel

Štúdia testovala odpadové vody z kovospracujúceho a papierenského priemyslu. V oboch prípadoch bola použitá nasledujúca batéria testov [60, 61]:

- a) akútna toxicita s *Vibrio fischeri*,
- b) inhibícia rastu *Lemna minor*,
- c) riasový test s *Desmodesmus subspicatus*,
- d) akútna toxicita s *Daphnia magna*,
- e) test s ikrami *Danio rerio*,
- f) umu test na stanovenie genotoxicity.

5 ZÁVER

Z porovnania uvedených štúdií z rôznych krajín vyplýva, že batérie používaných testov sa vždy mierne líšia, zásadou bolo vždy vykonanie ako ekotoxikologických, tak aj fyzikálno-chemických skúšok, nakoľko medzi týmito dvomi prístupmi neexistuje priama korelácia. Vďaka tomu je zabezpečená spoľahlivá identifikácia rizika, dodržanie limitných hodnôt emisií, ako aj vylúčenie kombinovaných toxických účinkov kontaminantov.

Pri výbere vhodnej batérie biotestov je potrebné zachovávať zásadu minimálne troch trofických úrovní, pričom testovacie organizmy je pre ich rôznu citlivosť na rôzne kontaminanty vhodné voliť s ohľadom na dané odvetvie priemyslu, a teda aj na predpokladané znečisťujúce látky vo vode. Nanajvýš žiaduce je zaradenie nielen akútnych ale i chronických testov.

Najčastejšie využívanými testami zatiaľ zostávajú štandardné biotesty 1. generácie, pričom na prvom mieste sú to predovšetkým test imobilizácie *Daphnia magna*, test s *Lemna minor*, inhibícia rastu *Sinapis alba*, riasový test a test na ikrách *Danio rerio*. Taktiež je veľmi často používaný bioluminiscenčný test s *Vibrio fischeri*.

V niektorých krajinách sú využívané i testy 3. generácie, a to predovšetkým na overenie genotoxicity a prítomnosti endokrinných disruptorov. Patrí sem napríklad umu test, test indukcie vitellogenínu, aktivity EROD,...

V Českej republike ekotoxikologické skúšky toxicity odpadových vôd zatiaľ nie sú zakotvené v legislatíve, slovenská legislatíva predpisuje iba limitný test toxicity pre vybrané odvetvia priemyslu. Postupným vývojom a ďalšími štúdiami by sa mal význam ekotoxikologických stanovení nielen v oblasti odpadových vôd v záujme účinnej ochrany životného prostredia zvyšovať.

6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. PITTER, P. *Hydrochemie*. 4. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
2. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY; MENDELU BRNO. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově*. Brno, 2007. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf
3. BINDZAR, J. et al. *Základy úpravy a čištění vod*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009, 251 s. ISBN 978-80-7080-729-3.
4. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Odpadní vody*. In: *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=O002
5. ŽÁČEK, L. *Hydrochemie*. Brno: VUTIUM, 1998, 80 s. ISBN 8021411678.
6. Česká republika. Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon): Změna: 501/2012 Sb. In: *Sbírka zákonů*. 2012. Dostupné z: www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf
7. Česká republika. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. a nařízení vlády č. 23/2011 Sb. In: *Sbírka zákonů*. 2011. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/pripustne_znecistení_vod_narizení
8. Slovenská republika. Zákon č. 364/2004 o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon). In: *Zbierka zákonov č. 153/2004*. 2004.
9. AMBROŽOVÁ, J. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, 226 s. ISBN 80-7080-521-8.
10. KOČÍ, V. Význam testů toxicity pro hodnocení vlivů látek na životní prostředí. *Chemické listy*. 2006, č. 100, s. 882-888 [cit. 2013-02-15].
11. Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a rady, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva. In: *Úradný vestník Európskych spoločenstiev*. 2000. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:05:32000L0060:SK:PDF>
12. HORÁKOVÁ, M. et al *Analytika vody*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, 335 s. ISBN 80-7080-520-X.
13. ČSN 75 7347. *Jakost vod – Stanovení rozpuštěných anorganických solí (RAS) v odpadních vodách – Gravimetrická metoda po filtraci filtrem ze skleněných vláken*. Praha: Hydroprojekt CZ, a.s., 2009.
14. Česká republika. Nařízení vlády č. 416/2010 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. In: *Sbírka zákonů*. 2010.
15. Česká republika. Nařízení vlády č. 23/2011, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. In: *Sbírka zákonů*. 2010.

16. Smernica Európskeho parlamentu a rady č. 2008/105/ES o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky, o zmene a doplnení a následnom zrušení smerníc Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS, 84/491/EHS a 86/280/EHS a o zmene a doplnení smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES. In: *Úradný vestník Európskej únie*. 2008.
17. Česká republika. Vyhláška č. 123/2012 Sb. o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových. In: *Sbírka zákonů*. 2012. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf>
18. Česká republika. Nařízení vlády č. 143/2012 o postupu pro určování znečištění odpadních vod, provádění odečtů množství znečištění a měření objemu vypouštěných odpadních vod do povrchových vod. In: *Sbírka zákonů*. 2012.
19. MÁCHOVÁ, J., SVOBODOVÁ, Z., VYKUSOVÁ, B. *Ekotoxikologické hodnocení výluhů tuhých průmyslových odpadů*. Vodňany: Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, 1994, 50 s. ISBN 8085887002.
20. Česká republika. Zákon č. 199/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 321/2004 Sb., o vinohradnictví a vinařství a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o vinohradnictví a vinařství), ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů 68/2012*. Praha, 2012.
21. Česká republika. Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví ze dne 17. října 2001 o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. In: *Sbírka zákonů*. Praha, 2004.
22. Česká republika. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. Praha, 2005.
23. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů*. Praha, 2007. Dostupné z: http://www.inisoft.cz/public/upload/attachments/k-strankam/legislativni-prirucka/metodicke-pokyny/mp_ekotoxicita.pdf
24. Prehľad aktuálnej environmentálnej legislatívy. *Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.minzp.sk/dokumenty/legislativa/prehľad-aktualnej-environmentalnej-legislativy>
25. Slovenská republika. Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 296/2005, ktorým sa ustanovujú požiadavky na kvalitu a kvalitatívne ciele povrchových vôd a limitné hodnoty ukazovateľov znečistenia odpadových vôd a osobitných vôd. In: *Zbierka zákonov*. 2005.
26. Slovenská republika. Metodické usmernenie Ministerstva životného prostredia SR k aplikácii nariadenia vlády SR č. 296/2005 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na kvalitu a kvalitatívne ciele povrchových vôd a limitné hodnoty ukazovateľov znečistenia odpadových vôd a osobitných vôd. In: Bratislava, 2006. Dostupné z: <http://www.minzp.sk/files/oblasti/voda/ochrana-vod/1/1-vlastnymat.pdf>
27. *Ekotoxikologické centrum Bratislava, s. r. o.* [online]. 2011 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.ekotox.sk/>
28. FARGAŠOVÁ, A. *Environmentálna toxikológia a všeobecná ekotoxikológia*. 1. vyd. Bratislava: Orman, 2008, 348 s. ISBN 789-80-969675-6-8.

29. HOFFMANN, D. J., RATTNER, B., BURTON, G. A., CAIRNS, J. *Handbook of ecotoxicology*. 2. vyd. Florida: Lewis publishers, 2003, 1290 s. ISBN 1-56670-546-0.
30. SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Twining projekt SK05/IB/EN/01 – Stanovenie Environmentálnych noriem kvality pre vodu a posilnenie krajských a obvodných úradov životného prostredia pri implementácii kontroly a monitoringu vôd: Implementácia a presadzovanie smernice Rady Európy o vypúšťaní škodlivých látok do vodného prostredia*. 2008. Dostupné z: www.shmu.sk/File/projekty/tpds/Annex_9_3_Profeta_Ecotoxicology_SK.pdf
31. KOČÍ, V., MOCO VÁ, K. *Ekotoxikologie pro chemiky*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009, 199 s. ISBN 978-80-7080-699-9.
32. TNV 757768. *Hodnocení účinnosti průmyslových odpadních vod pomocí toxikologického stanovení*. Praha: Hydroprojekt CZ, 2006.
33. FARGAŠOVÁ, A. *Ekotoxikologické biotesty*. 1. vyd. Bratislava: Perfekt, 2009, 317 s. ISBN 978-80-8046-422-6.
34. FARGAŠOVÁ, A. UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE. *Experimentálne stanovenie ekotoxicity* [online]. 2009 [cit. 2013-31-3]. Dostupné z: http://www.enviro-edu.sk/?page=environmentalne_problemy/experimentalne_stanovenie_ekotoxicity
35. FARGAŠOVÁ, A. UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE. *Experimentálne využívanie ekotoxikologických biotestov pri hodnotení toxicity vo vodnom prostredí* [online]. 2009 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: http://www.enviro-edu.sk/?page=environmentalne_problemy/ekotoxikologicke_biotesty_pri_hodnoteni_toxicity_vo_vodnom_prostredi
36. HUSÁK, M. ČVUT FEL. *Biosenzory* [online]. 2009 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/10%20Biosenzory.pdf>
37. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Potenciál toxického vlivu*. In: *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=P021
38. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Využití testů toxicity v čistírenství*. In: *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=V015
39. JADAMUSOVÁ, P. *Stanovení účinku odpadních vod na klíčivost semen a růst v počátečních stádiích vývoje rostliny Sinapis alba* [online]. 2012 [cit. 2013-02-15]. Diplomová práce. OSTRAVSKÁ UNIVERZITA V OSTRAVĚ, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Hana Sezimová. Dostupné z: <http://theses.cz/id/rpvfka>
40. Zebra danio. *Aquarium worlds* [online]. 2011 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://aquariumworlds.com/zebra-danio>
41. FULLER, P. Nonindigenous Aquatic Species: Poecilia reticulata. *US Geological Survey* [online]. 2007 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://nas.er.usgs.gov/queries/collectioninfo.aspx?SpeciesID=863>
42. Daphnids. MARINCO BIOASSAY LABORATORY. *MBL Aquaculture* [online]. 2005 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.mblaquaculture.com/content/organisms/daphnids.php>
43. BAUMGARTNER, V., DYTKIEWITZ, E. *HPTLC-Bioluminescence-Coupling using Vibrio fischeri* [online]. 2010 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://www.clubdeccm.com/PDF/20101014/20101014_3-4-5temp.pdf

44. SCHOU, J. C. Common duckweed: *Lemna minor*. *Biopix: Nature photos/images* [online]. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.biopix.com/common-duckweed-lemna-minor_photo-47907.aspx
45. JONÁŠ, A. Aplikace rybího embryonálního testu v průmyslu a při testování odpadních vod. In: *ChemPoint* [online]. 2012 [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/aplikace-rybiho-embryonalniho-testu-v-prumyslu-a-pri-testovani-odpadnich-vod>
46. ČSN EN ISO 15088 (75 7762). *Jakost vod – Stanovení akutní toxicity odpadních vod pro jikry dania pruhovaného (Danio rerio)*. Praha: Hydroprojekt CZ, 2009.
47. MAYORGA, P., PEREZ, K. R., CRUZ, S. M., CACERES, A. Comparison of bioassays using the anostracan crustaceans *Artemia salina* and *Thamnocephalus platyurus* for plant extract toxicity screening. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. [online]. 2010, č. 20, n.6, 897-903. [cit. 2013-03-28]. ISSN 0102-695X. Dostupné z: <http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v20n6/aop3110.pdf>
48. URHO, L. Trout: Rainbow trout. *New York State Department of Environmental Conservation* [online]. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.dec.ny.gov/animals/7016.html>
49. Zkušební laboratoř analytické chemie a ekotoxikologie. *Výzkumný ústav stavebních hmot* [online]. 2012 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://www.vustah.cz/zlatelab.htm?lang=CS>
50. DEBRA, D., MILLER J., STUBER, R. *EPA Regions 8, 9 and 10 toxicity training tool*. San Francisco, CA, 2010. Dostupné z: <http://www.epa.gov/region8/water/wet/ToxTrainingTool10Jan2010.pdf>
51. SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. *Whole effluent toxicity testing* [SETAC Technical issue paper]. 2004. Dostupné z: www.setac.org/resource/resmgr/publications_and_resources/tip-wet.pdf
52. TEODOROVIĆ, I., BECELIĆ, M., PLANOJEVIĆ, I., IVANCEV-TUMBAS I., DALMACIJA, B. The relationship between whole effluent toxicity (WET) and chemical-based effluent quality assessment in Vojvodina (Serbia). *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 2008, č. 158, s. 381-392 [cit. 2013-02-22]. DOI: 10.1007/s10661-008-0591-0. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18972215>
53. COHIBA. *Control of hazardous substances in the Baltic Sea region* [online]. 2009 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.cohiba-project.net/>
54. CHAPMAN, P. M. Whole effluent toxicity testing – usefulness, level of protection, and risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2000, č. 19, s. 3-13. DOI: 10.1002/etc.5620190102.
55. COHIBA WP 3 PARTICIPANTS. *Whole Effluent Assessment (WEA): Proposed recommendations for the use of toxicity limits* [online]. Finnish Environment Institute, 2010, 23 s. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://www.cohiba-project.net/publications>
56. USEPA Regions 9 and 10. *Guidance for implementing whole effluent toxicity testing programs*. 1996. Dostupné z: <http://www.epa.gov/region9/water/npdes/pdf/r9and10wetguidance.pdf>
57. SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. *Whole effluent toxicity testing: Ion imbalance* [SETAC Technical issue paper]. 2004. Dostupné z: www.setac.org/resource/resmgr/publications_and_resources/tip-ion.pdf
58. MORBEY, M. A. et al Ecotoxicological assesment of wastewaters: a Portuguese case study (Trancao river basin). *Environmental toxicology* [online]. 2008, roč. 4, č. 23, s.

- 466-472 [cit. 2013-04-07]. DOI: 10.1002/tox.20359. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18214883>
59. GARRIC, J., VINDIMIAN, E., FERARD, J. F. Ecotoxicology and wastewater: some practical applications. *Science of The Total Environment* [online]. 1993, č. 134, 1085–1103 [cit. 2013-02-15]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969705801135>
60. GARTISER, S., HAFNER, C., HERCHER, C., KRONENBERGER-SCHÄFER K., PASCHKE, A. Whole effluent assessment of industrial wastewater for determination of BAT compliance : Part 1: Paper manufacturing industry. *Environmental Science and Pollution research international* [online]. 2010, 17 (4), s. 856-865 [cit. 2013-02-22]. DOI: 10.1007/s11356-009-0289-z. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20140711>
61. GARTISER, S., HAFNER, C., HERCHER, C., KRONENBERGER-SCHÄFER K., PASCHKE, A. Whole effluent assessment of industrial wastewater for determination of BAT compliance: Part 2: metal surface treatment industry. *Environmental Science and Pollution research international* [online]. 2010, 17 (5), s. 1149-1157 [cit. 2013-02-22]. DOI: 10.1007/s11356-009-0289-z. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20127188>
62. Seznam norem ČSN. *Technor: Technické normy ČSN* [online]. 2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy>

7 POUŽITÉ SKRATKY A SYMBOLY

AOX	adsorbovatelné organicky viazané halogény
ASTM	American Society for testing and materials
BSK ₅	biochemická spotreba kyslíku
CFA	kontinuálna prietoková analýza (continuous flow analysis)
ČOV	čistiareň odpadových vôd
ČSN	Česká technická norma
EC50	koncentrácia vzorky s účinkom na 50 % organizmov
EO	ekvivalentný počet obyvateľov
EROD	etoxyrezorufín-O-deetyláza (enzým vznikajúci v pečeni rýb v prítomnosti niektorých xenobiotík)
FIA	prietoková injekčná analýza (flow injection analysis)
CHSK _{Cr}	chemická spotreba kyslíku, oxidačné činidlo dichróman draselný
ICP-MS	hmotnostná spektrometria s indukčne viazanou plazmou
ICP-OES	optická emisná spektrometria s indukčne viazanou plazmou
LD50	stredná letálna dávka s účinkom spôsobujúcim úhyn 50 % organizmov
LOEC	najnižšia koncentrácia spôsobujúca pozorovaný účinok (lowest observed effect concentration)
MŽP	Ministerstvo životného prostredia
NL	nerozpustené látky
N _{amon}	amoniakálny dusík
N _{anorg}	celkový anorganický dusík
N-NO ₂	dusitanový dusík
N-NO ₃	dusičnanový dusík
NOEC	koncentrácia vzorky bez pozorovateľného efekt (no observed effect concentration)
NPDES	Národný systém vylúčenia vypúšťania polutantov v USA (National pollutant discharge elimination system)
OV	odpadová voda
P _{celk}	celkový fosfor
PAH	polycyklické aromatické uhľovodíky
PBDE	polybrómované difenylétery
PEI	index hodnotenia potenciálneho účinku (potential effect index)
PHA	index hodnotenia potenciálneho nebezpečenstva (potential hazard assessment)
PTV	potenciál toxického vplyvu
RAS	rozpustené anorganické soli
SPMD	pasívny vzorkovač na princípe polopriepustnej membrány (semipermeable membrane device)
TIE	proces identifikácie toxicity (toxicity identification evaluation)
TOX _{lim}	limitná skúška ekotoxicity
TRE	proces znižovania toxicity (toxicity reduction evaluation)
TU	toxické jednotky
US EPA	Agentúra pre ochranu životného prostredia Spojených štátov amerických (United States environmental protection agency)
WET	priama toxicita odpadových vôd (whole effluent toxicity)
Z. z.	Zbierka zákonov Slovenskej republiky

8 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 Analytické metódy stanovenia ukazovateľov znečistenia odpadových vôd

Príloha 2 Súvisiace normy ČSN z oblasti ekotoxikológie

9 PRÍLOHY

9.1 Príloha 1 Analytické metódy stanovenia ukazovateľov znečistenia

Tabuľka 2 Zoznam noriem, ktoré popisujú metódy stanovenia spoplatnených ukazovateľov znečistenia podľa Nařízení vlády č. 143/2012 Sb. [20]

Ukazovateľ	Norma	Analytické metódy stanovenia
CHSK _{Cr}	ČSN ISO 15705 (75 7521)	Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK _{Cr}) – Metoda ve zkumavkách
	ČSN ISO 6060 (75 7522)	Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku
RAS	ČSN 75 7347	Jakost vod – Stanovení rozpuštěných anorganických solí v odpadních vodách – Gravimetrická metoda po filtraci filtrem ze skleněných vláken
NL	ČSN EN 872 (75 7349)	Jakost vod – Stanovení nerozpuštěných látek – Metoda filtrace filtrem ze skleněných vláken
P _{celk}	ČSN EN ISO 6878 (75 7465)	čl. 7 a čl. 8, Jakost vod – Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným
	ČSN EN ISO 11885 (75 7387)	Jakost vod – Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)
	ČSN EN ISO 15681-1 (75 7464)	Jakost vod – Stanovení orthofosforečnanů a celkového fosforu průtokovou analýzou (FIA, CFA) – Část 1: Metoda průtokové injekční analýzy (FIA)
	ČSN EN ISO 15681-2 (75 7464)	Jakost vod – Stanovení orthofosforečnanů a celkového fosforu průtokovou analýzou (FIA a CFA) – Část 2: Metoda kontinuální průtokové analýzy (CFA)
	ČSN EN ISO 17294-2 (75 7388)	Jakost vod – Použití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) – Část 2: Stanovení 62 prvků
N _{amon}	ČSN ISO 5664 (75 7449)	Jakost vod – Stanovení amonných iontů – Odměrná metoda po destilaci
	ČSN ISO 7150-1 (75 7451)	Jakost vod – Stanovení amonných iontů – Část 1: Manuální spektrometrická metoda
	ČSN EN ISO 11732 (75 7454)	Jakost vod – Stanovení amoniakálního dusíku – Metoda průtokové analýzy (CFA a FIA) se spektrofotometrickou detekcí
	ČSN ISO 6778 (75 7450)	Jakost vod – Stanovení amonných iontů – Potenciometrická metoda
	ČSN EN ISO 14911 (75 7392)	Jakost vod – Stanovení rozpuštěných kationtů Li ⁺ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mn ²⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Sr ²⁺ a Ba ²⁺ chromatografií iontů – Metoda pro vody a OV

N _{anorg}	Stanovenie ako suma N-NH ₄ + N-NO ₂ + N-NO ₃	
N-NO ₂	ČSN EN 26777 (75 7452)	Jakost vod – Stanovení dusitanů – Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda
	ČSN EN ISO 13395 (75 7456)	Jakost vod – Stanovení dusitanového dusíku a dusičnanového dusíku a sumy obou průtokovou analýzou (CFA a FIA) se spektrofotometrickou detekcí
	ČSN EN ISO 10304-1 (75 7391)	Jakost vod – Stanovení rozpuštěných aniontů metodou kapalinové chromatografie iontů – Část 1: Stanovení bromidů, chloridů, fluoridů, dusičnanů, dusitanů, fosforečnanů a síranů
N-NO ₃	ČSN ISO 7890-3 (75 7453)	Jakost vod – Stanovení dusičnanů – Část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou
	ČSN EN ISO 13395 (75 7456)	Jakost vod – Stanovení rozpuštěných aniontů metodou kapalinové chromatografie iontů – Část 1: Stanovení bromidů, chloridů, fluoridů, dusičnanů, dusitanů, fosforečnanů a síranů
	ČSN 75 7455	Jakost vod – Stanovení dusičnanů – Fotometrická metoda s 2,6-dimethylfenolem – Metoda ve zkuševkách
AOX	ČSN EN ISO 9562 (75 7531)	Jakost vod – Stanovení adsorbovatelných organicky vázaných halogenů (AOX)
Hg	ČSN EN 1483 (75 7439)	Jakost vod – Stanovení rtuti – Metoda atomové absorpční spektrometrie
	ČSN 75 7440	Jakost vod – Stanovení celkové rtuti termickým rozkladem, amalgamací a atomovou absorpční spektrometrií
	ČSN EN 12338 (75 7441)	Jakost vod – Stanovení rtuti – Metody po zkoncentrování amalgamací
	ČSN EN ISO 17852 (75 7442)	Jakost vod – Stanovení rtuti – Metoda atomové fluorescenční spektrometrie
Cd	ČSN EN ISO 5961 (75 7418)	Jakost vod – Stanovení kadmia atomovou absorpční spektrometrií
	ČSN EN ISO 11885 (75 7387)	Jakost vod – Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)
	ČSN ISO 8288 (75 7382)	Jakost vod – Stanovení kobaltu, niklu, mědi, zinku, kadmia a olova – Metody plamenové atomové absorpční spektrometrie
	ČSN EN ISO 15586 (75 7381)	Jakost vod – Stanovení stopových prvků atomovou absorpční spektrometrií s grafitovou kyvetou
	ČSN EN ISO 17294-2 (75 7388)	Jakost vod – Použití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) – Část 2: Stanovení 62 prvků

9.2 Príloha 2 Súvisiace normy ČSN v oblasti ekotoxikológie

1. ČSN EN ISO 10712 (75 7733) Jakost vod – Zkouška inhibice růstu na *Pseudomonas putida* (zkouška inhibice rozmnožování buněk *Pseudomonas*)
2. ČSN EN ISO 11348-1 (757734) Jakost vod – Stanovení inhibičního účinku vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 1: Metoda s čerstvě připravenými bakteriemi
3. ČSN EN ISO 11348-2 (757734) Jakost vod – Stanovení inhibičního účinku vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 2: Metoda se sušenými bakteriemi
4. ČSN EN ISO 11348-3 (757734) Jakost vod – Stanovení inhibičního účinku vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 3: Metoda s lyofilizovanými bakteriemi
5. ČSN EN ISO 8692 (757740) Kvalita vod – Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas
6. ČSN EN ISO 10253 (757742) Jakost vod – Zkouška inhibice růstu mořských řas *Skeletonema costatum* a *Phaeodactylum tricornutum*
7. ČSN ISO 14442 (757743) Jakost vod – Návod na provedení zkoušek inhibice růstu řas s málo rozpustnými materiály, těžkými sloučeninami, kovy a odpadní vodou
8. ČSN EN ISO 20079 (757745) Jakost vod – Stanovení toxických účinků složek vody a odpadní vody na okřehek (*Lemna minor*) – Zkouška inhibice růstu okřehku
9. ČSN 75 7746 (757746) Jakost vod – Stanovení inhibičních účinků látek na účinnost fotosyntézy
10. ČSN EN ISO 6341 (757751) Jakost vod – Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* Straus (*Cladocera*, *Crustacea*) – Zkouška akutní toxicity
11. ČSN ISO 10706 (757752) Jakost vod – Stanovení chronické toxicity látek pro *Daphnia magna* Straus (*Cladocera*, *Crustacea*)
12. ČSN ISO 20665 (757753) Jakost vod – Stanovení chronické toxicity pro *Ceriodaphnia dubia*
13. ČSN ISO 14380 (757754) Kvalita vod – Stanovení akutní toxicity pro *Thamnocephalus platyurus* (*Crustacea*, *Anostraca*)
14. ČSN ISO 20666 (757757) Jakost vod – Stanovení chronické toxicity pro *Brachionus calyciflorus* během 48 h
15. ČSN ISO 10229 (757760) Jakost vod – Stanovení subchronické toxicity látek pro sladkovodní ryby – Metoda vyhodnocení účinků látek na růstovou rychlost pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* Walbaum (*Teleostei*, *Salmonidae*)
16. ČSN EN ISO 7346-1 (757761) Jakost vod – Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (*Teleostei*, *Cyprinidae*)] – Část 1: Statická metoda
17. ČSN EN ISO 7346-2 (757761) Jakost vod – Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (*Teleostei*, *Cyprinidae*)] – Část 2: Obnovovací metoda
18. ČSN EN ISO 7346-3 (757761) Jakost vod – Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (*Teleostei*, *Cyprinidae*)] – Část 3: Průtočná metoda

19. ČSN EN ISO 15088 (757762) Jakost vod – Stanovení akutní toxicity odpadních vod pro jikry dania pruhovaného (*Danio rerio*)
 20. ČSN ISO 12890 (757763) Jakost vod – Stanovení toxicity pro embryonální a larvální stadia sladkovodních ryb – Semistatická metoda
 21. ČSN EN ISO 8192 (757731) Jakost vod – Zkouška inhibice spotřeby kyslíku aktivovaným kalem při oxidaci uhlíkatých látek a amoniakálního dusíku
 22. ČSN EN ISO 9509 (75 7732) Jakost vod – Zkouška toxicity pro hodnocení inhibice nitrifikace mikroorganismy aktivovaného kalu
- [62]**